



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Mecánica

PROYECTO FIN DE CARRERA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE
MAGNETÓMETRO TRIAXIAL PARA
ANÁLISIS Y EXPERIMENTACIÓN DE
AISLAMIENTOS MAGNÉTICOS

Autor: Sergio García García

Director: Efrén Díez Jiménez

Leganés, Febrero de 2013

Título:

Autor:

Director:

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día __ de _____
de 20__ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de
Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

A mis padres, mi hermana y mis abuelos por confiar siempre en mí y apoyarme durante todos estos años. Por mostrarme siempre el camino, y no parar de darme razones para seguir siempre hacia adelante, porque mis éxitos son los suyos.

A mis amigos de toda la vida, por estar siempre ahí, ayudándome y dándome siempre ánimos en los malos momentos.

A mis amigos de la universidad, por hacerme todos estos años mucho más amenos y por todos esos momentos inolvidables que hemos pasado juntos.

A mí cuñado por todo su apoyo y por su ayuda en la corrección de la redacción de este proyecto.

Al tutor de este proyecto por atenderme siempre que ha sido necesario y ayudar en gran medida a la consecución del mismo.

Resumen

En el presente proyecto, dentro del proyecto de investigación MAGDRIVE, se han llevado a cabo diferentes diseños de magnetómetros triaxial y puntual, a partir del uso de sensores de efecto Hall A1301EUA para la caracterización del ruido magnético generado por el dispositivo de reductora magnetomecánica.

Dos de los tres diseños presentados se han fabricado para su aplicación inmediata. Una de las aplicaciones se presenta en este proyecto: se ha realizado un estudio experimental sobre las capacidades de apantallamiento magnético de diferentes materiales.

El diseño se ha realizado con la ayuda del software de diseño mecánico SOLID EDGE, que nos permita desarrollar montajes complejos en 3D a partir del diseño individual de las diferentes piezas del conjunto. Este programa permite además visualizar las piezas y el conjunto desde cualquier ángulo y la realización de los planos para la posterior fabricación.

La fabricación de los diferentes diseños se ha hecho en el taller del departamento de ingeniería mecánica. Las piezas se han fabricado con materiales poliméricos para evitar cualquier interferencia magnética. Una vez construidas las piezas se han montado y se han colocado y cableado los sensores de efecto Hall con gran precisión.

Para la recogida de los datos obtenidos por los sensores de efecto Hall, se ha usado un DAQ 6009 de National Instruments, y el software de programación Labview2010. Los programas han sido creados pensando en las necesidades de la recogida de datos y creando un panel de control de mediciones, que nos permite recoger los datos al pulsar un botón.

Por último se ha diseñado un banco de ensayos para la realización de las mediciones de campo magnético en diferentes configuraciones de apantallamiento magnético y de materiales. Se ha encontrado un máximo de apantallamiento en una de las configuraciones para uno de los materiales seleccionados.

Palabras clave:

Magnetómetro, sensor de efecto Hall, adquisición y tratamiento de datos, apantallamiento magnético, materiales magnéticos

Abstract

In the present project, inside the project of investigation MAGDRIVE, different designs of triaxial and punctually magnetometers have been carried out, from the use of Hall effect sensors A1301EUA for the characterization of the magnetic noise generated by the device of magneto-mechanic reduction.

Two of three presented designs have been made for his immediate application. One of the applications appears in this project: an experimental study has been realized on the capacities of magnetic shielding of different materials.

The design has realized with the help of the software of mechanical design SOLID EDGE, that it allows us to develop complex assemblies in 3D from the individual design of the different pieces of the whole. Besides, this program allows visualizing the pieces and the whole from any angle and view. With this program we will make the accomplishment of the planes for the later manufacture.

The manufacture of the different designs has been made in the workshop of the engineering department mechanics. The pieces have been made by polymeric materials to avoid any magnetic interference. Once made the pieces have been mounted and there have placed and wired up the Hall effect sensors by great precision.

For the extraction of the information obtained by the Hall effect sensors, has been used a DAQ 6009 of National Instruments, and the software of programming by blocks Labview2010. The programs have been created thinking about the needs of the extraction of information and creating a control panel of measurements, which allows us to compile the information only touching a button.

Finally a bank of tests has been designed for the accomplishment of the measurements of magnetic field in different configurations of magnetic shielding and materials. One has found a maximum shielding in one of the configurations for one of the selected materials.

Keywords:

Magnetometer, Hall effect sensor, acquisition and treatment of data, magnetic shielding, magnetic materials

Índice

Capítulo 1. Introducción y objetivos	16
1.1 Introducción	16
1.2 Objetivos	16
1.3 Estructura de la memoria	17
Capítulo 2. Estado del arte	19
2.1 Conceptos básicos de magnetismo	19
2.1.1 Diamagnetismo	22
2.1.2 Paramagnetismo	23
2.1.3 Ferromagnetismo	23
2.1.4 Antiferromagnetismo	24
2.2 Magnetómetros	25
2.2.1 Tipos.....	25
2.2.2 Usos	32
2.3 Apantallamiento Magnético (Magnetic shielding)	35
2.3.1. Introducción	35
2.3.2 Factor de apantallamiento	36
2.3.3 Estudios de apantallamiento magnético	37
2.3.4 Mu-metal	40
Capítulo 3. Diseño del Magnetómetro.....	44
3.1 Diseño del magnetómetro triaxial mediante un solo sensor defecto Hall.....	44
3.1.1 Diseño mediante geometría de paralelepípedos	45
3.1.2 Diseño mediante mecanismo de giros	50
3.2 Diseño del magnetómetro mediante tres sensores de efecto Hall.....	55
3.3 Diseño de un solo sensor Vs Diseño de tres sensores	56
Capítulo 4. Fabricación y Montaje	57
4.1 Fabricación	57
4.1.1 Fabricación del magnetómetro de cubo seccionado.....	57
4.1.2 Fabricación del magnetómetro de tres sensores	58
4.2 Montaje.....	59
4.2.1 Montaje del magnetómetro de cubo seccionado	59
4.2.1 Montaje del magnetómetro de tres sensores de efecto Hall	61

Capítulo 5. Acondicionamiento Eléctrico.....	62
5.1 Acondicionamiento eléctrico para magnetómetro de cubo seccionado.....	63
5.2 Acondicionamiento eléctrico para magnetómetro de tres sensores	63
Capítulo 6. Adquisición de Datos.....	65
6.1 Adquisición de datos para magnetómetro de cubo seccionado.....	65
6.1.1 Medición punto por punto	65
6.1.2 Medición eje por eje.....	68
6.2 Adquisición de datos para magnetómetro de tres sensores	70
Capítulo 7. Apantallamiento Magnético	73
7.1- Banco de ensayos.....	74
Capítulo 8. Mediciones y Resultados	77
Capítulo 9. Presupuesto.....	85
Capítulo 10. Conclusiones.....	86
Referencias.....	87
Anexos.....	89
Anexo 1. Plano del magnetómetro de cubo seccionado.....	89
Anexo2. Planos del magnetómetro de tres sensores	92
Anexo 3. Planos del magnetómetro de muelles	94
Anexo4. Plano del Banco de mediciones	99
Anexo5. Datos Técnicos del Mu-metal	100
Anexo 6.- Documentación Técnica del Emi-metal con espesor 0,1mm.....	107
Anexo 7.- Documentación Técnica del EMI-metal con espesor 0,2mm.....	109
Anexo 8. Documentación Técnica del sensor de efecto Hall A1301EUA-T	111
Anexo 9. Documentación Técnica del DAQ 6009 de Natyonal Instrument	119

Índice de figuras

Figura 1. Polvo de hierro sobre una barra de hierro	20
Figura 2. Campo magnético generado por un solenoide.....	20
Figura 3. Mecanismo de generación del campo magnético	22
Figura 4. Orientación de los dipolos en un material diamagnético	22
Figura 5. Dipolos magnéticos en un material paramagnético	23
Figura 6. Dominios magnéticos en un material ferromagnético	24
Figura 7. Orientación de los dominios magnéticos en un material antiferromagnético.....	24
Figura 8. Magnetómetro de protón	26
Figura 9. Magnetómetro Overhauser transportado por operario	27
Figura 10. Magnetómetro de vapor de Cesio transportado por operario	28
Figura 11. Magnetómetro de efecto Hall NMR de bolsillo.	29
Figura 12. Magnetómetro Fluxgate uniaxial.....	30
Figura 13. Brújula de Magnetómetro Fluxgate.....	31
Figura 14. Magnetómetro SQUID, equipo completo.....	31
Figura 15. Brújula en un móvil I-phone 3G S	35
Figura 16. Muestra de apantallamiento magnético	36
Figura 17 y Figura 18. Apantallamiento magnético en el interior de un cilindro	37
Figura 19. Factor de apantallamiento Vs permeabilidad del material	38
Figura 20. Factor de apantallamiento Vs Permeabilidad y espesor	38
Figura 21. Gráficos de factor de apantallamiento del estudio Magnetic Shielding Performance of Thin Metal Sheets Near Power Cables'	39
Figura 22. Estudio multicapa: 'Experimental performance investigation of double-layer shields at power frequency magnetic shielding'	39
Figura 23. Gráfico del factor de apantallamiento Vs distancia/tipo de aislamiento.....	40
Figura 24. geometría de apantallamiento en el estudio 'Iron magnetic shielding of the series hybrid magnet'	40
Figura 25. Una caja construida con mu-metal de cinco-capas reduce el campo magnético de la Tierra aproximadamente 5000 veces	42
Figura 26 y Figura 27. Características del estudio: 'A high performance magnetic shield with large length to diameter ratio'	43
Figura 28. Sistema de medición del sensor de efecto Hall A1301EUA-T	44
Figura 29. Boceto sobre los primeros pasos del diseño mediante paralelepípedos	45
Figura 30. Boceto sobre diseño mediante paralelepípedos y guías.....	46
Figura 31. Diseño en Solid Edge del cubo seccionado con taladros.....	47
Figura 32. Diseño en Solid edge del cubo seccionado con sensor pegado y fijado con escuadras	47
Figura 33. Diseño final en Solid Edge de cubo seccionado, posición 1	48
Figura 34. Diseño final en Solid Edge de cubo seccionado, posición 2	49
Figura 35. Diseño final en Solid Edge de cubo seccionado, posición 3	49
Figura 36. Boceto mediante mecanismo de giro con rotulas	50
Figura 37. Boceto mediante mecanismo de giro con muelles	51

Figura 38. Diseño inicial en Solid Edge mediante mecanismo de giro con muelles	51
Figura 39. Diseño en Solid Edge. Mecanismo del giro superior.	52
Figura 40. Diseño en Solid Edge. Mecanismo de giro inferior	52
Figura 41. Diseño definitivo en Solid Edge de magnetómetro de muelles, posición 1	53
Figura 42. Diseño definitivo en Solid Edge de magnetómetro de muelles, posición 2	54
Figura 43. Diseño definitivo en Solid Edge de magnetómetro de muelles, posición 3	54
Figura 44. Diseño en solid Edge del magnetómetro con los tres sensores de efecto Hall	55
Figura 45. Sensor de efecto Hall A1301EUA	57
Figura 46, Figura 47 y Figura 48. Foto pieza cubo y soporte. Y fotos del soporte.....	58
Figura 49. Foto del soporte circular, con dos de los sensores ya montados	58
Figura 50. Galgas de precisión.....	59
Figura 51. Foto del sensor con el cableado.	59
Figura 52. Montaje del sensor en el diseño, en el plano XY.	60
Figura 53 y Figura 54. Montaje final del sensor cableado y tableado en el soporte cubo.	60
Figura 55 y Figura 56. Montaje del magnetómetro de tres sensores de efecto Hall	61
Figura 57. Fuente de alimentación	62
Figura 58. DAQ 6009 de National Instrument	62
Figura 59. Conexión del sensor al DAQ 6009.....	63
Figura 69. Conexiones de los tres sensores al DAQ.	64
Figura 60. Panel de control para el programa en Labview para magnetómetro de cubo y medición punto a punto.....	66
Figura 61. Programa de bucles de Labview, conexión del DAQ y salida de gráficos y campo magnético.	66
Figura 62. Programa en Labview, bucles de medición y organización de datos	67
Figura 63 y Figura 64. Programa en Labview, recogida de datos (izq) y nueva medición (dcha) 67	
Figura 65. Panel de control para el programa en Labview para magnetómetro de cubo y medición eje a eje.	68
Figura 66. Programa en Labview, modificación en bucles de medición y organización de datos.	69
Figura 67. Programa Labview 10, bucle de nueva medición para medición eje por eje.	69
Figura 68. Programa Labview 10, bucle para activación de cambio de eje	70
Figura 70. Panel de control para el magnetómetro de tres sensores de efecto Hall	71
Figura 71. Labview 10, diagrama de bloques de la conexión del DAQ y salidas del valor del campo magnético.....	71
Figura 72. Labview 10, diagrama de bloques sobre el bucle de medición y organización de datos	72
Figura 73 y Figura 74. Labview 10, Bucle de ‘Nueva medición’ (izq) y Bucle de ‘Salvar Datos’ (dcha)	72
Figura 75 y Figura 76. Láminas de metal caucho, 0,2mm espesor izq y 0,1mm espesor dcha ...	73
Figura 77 y Figura 78. Láminas de acero 304 izq y Mu-metal dcha	74
Figura 79. Imán en forma de aro	74
Figura 80. Diseño en Solid Edge del banco de ensayos.	75
Figura 81 y Figura 82. Vistas de la pieza para el banco de ensayos.	76
Figura 83. Numeración de las ranuras del banco de mediciones	77
Figura 84. Medición del campo magnético sin apantallamiento	78

Figura 85. Medición del apantallamiento de las láminas de metal-caucho con 5 láminas.	79
Figura 86. Medición del apantallamiento de las 5 láminas de mu-metal. Vista Perfil	79
Figura 87. Medición del apantallamiento de las 5 láminas de mu-metal. Vista Planta	80
Figura 88. Conexiones de todos los dispositivos, fuente de alimentación, sensor y DAQ durante una de las mediciones	80
Figura 89. Gráfico de mediciones del campo magnético en Teslas en función del tipo de apantallamiento.	82
Figura 90. Gráfico del Factor de apantallamiento	83

Índice de Tablas

Tabla 1.- Unidades magnéticas.....	21
Tabla 2.- Ventajas e Inconvenientes del Magnetómetro de 1 sensor	56
Tabla 3.- Ventajas e Inconvenientes del Magnetómetro de 3 sensores	56
Tabla 4.- Permeabilidad magnética y espesor de las láminas.....	74
Tabla 5.- Diferentes configuraciones para las mediciones de cada material	78
Tabla 6.- Mediciones de campo magnético en teslas	81
Tabla 7.- Factor de apantallamiento	83
Tabla 8.- Presupuesto de los magnetómetros y adquisición de datos	85
Tabla 9.- Presupuesto del ensayo de apantallamiento magnético	85

Capítulo 1. Introducción y objetivos

1.1 Introducción

En este proyecto se ha realizado el diseño y construcción de diferentes tipos de magnetómetros triaxiales. Dichos magnetómetros se han construido mediante la colocación precisa de sensores de efecto Hall en soportes de plástico o nylon. Uno de ellos se ha realizado con un único sensor, que mediante tres posiciones del soporte del magnetómetro mide de forma triaxial el campo magnético de forma precisa; el otro por su parte consta de tres sensores y su precisión es algo menor, ya que cada sensor medirá el campo en un punto, y por tanto el resultado final del campo medido será un punto mayor.

La conexión de los dispositivos al ordenador se ha realizado mediante un DAQ 6009 y mediante el software de programación Labview 2010. Gracias a este programa se podrán visualizar las mediciones del sensor en cada momento, y a su vez podremos realizar una recogida precisa y ordenada de los datos que se precisen para los posteriores estudios realizados con estos dispositivos.

Para concluir el proyecto se ha decidido realizar un ensayo de aislamiento magnético, para ello se ha construido un banco de mediciones en el que posicionar los magnetómetros, las láminas apantalladoras y el imán para realizar el ensayo de forma precisa. Mediante el uso de pantallas de mu-metal, EMI-metal y de acero304 se realizaron diferentes combinaciones con las que generar datos sobre su capacidad de aislamiento y ver como se comportaba cada uno de los materiales ante el campo electromagnético generado por el imán.

1.2 Objetivos

En este proyecto constan varios objetivos fundamentales.

- Diseño de magnetómetros triaxial y puntual para aplicación en el proyecto MAGDRIVE.
- Fabricación de algunos de los prototipos.
- Programación de un sistema de adquisición de datos en Labview2010 para dicho magnetómetro.
- Realizar un estudio sobre apantallamiento magnético para diferentes configuraciones y materiales.

1.3 Estructura de la memoria

La estructura de esta memoria está dividida en nueve capítulos, un capítulo de referencias y otro capítulo para los anexos necesarios. A continuación explicaremos brevemente lo que podemos encontrar en cada uno de ellos.

El primer capítulo introducción y objetivos, está compuesto a su vez por tres apartados. En primer lugar una introducción general donde se explica resumidamente en qué consiste el proyecto. A continuación se incluyen los objetivos del trabajo, tanto el objetivo principal como los objetivos parciales del estudio realizado. El tercer apartado es el presente.

El segundo capítulo es el del estado del arte, que se divide en tres apartados. En el primero se hace una introducción al campo magnético y sus propiedades. En el segundo se habla de la historia y los tipos de magnetómetros. Y por último en el tercero se habla sobre el apantallamiento electromagnético, los estudios realizados en la actualidad, y también se hace una pequeña introducción al mu-metal.

El tercer capítulo es el encargado de explicar el desarrollo del diseño, desde sus inicios hasta el diseño final. Se divide en dos partes; una parte para el diseño del magnetómetro de un único sensor, donde se explica un diseño realizado mediante paralelepípedos, y otro diseño realizado a través de un sistema de giros mediante muelles. La segunda parte explica el diseño del magnetómetro de tres sensores.

En el cuarto capítulo se dedica a la fabricación de los soportes del magnetómetro y al montaje de los sensores sobre dichos soportes. También se explica el cableado de los sensores que luego se conectarán a los diferentes dispositivos.

En el quinto capítulo se explica el acondicionamiento eléctrico de los sensores, es decir, el cableado para proporcionarles corriente a los sensores y transmitir la información al DAQ 6009. Se divide en dos partes; la primera para el magnetómetro de un solo sensor y la segunda parte para el magnetómetro de tres sensores.

El sexto capítulo trata sobre la adquisición de datos. En dicho capítulo se explican los programas realizados en Labview, y la creación de los paneles de control de dichos programas. Se dedica un apartado de cada capítulo a cada uno de los programas creados, los cuales se diferencian en la forma de la toma de datos y la forma de archivarlos.

El séptimo capítulo es el encargado de hablar del aislamiento magnético. Introduce el caso particular de aislamiento que vamos a realizar, y a su vez introduce un punto sobre el diseño y la fabricación del banco de ensayos que posteriormente vamos a usar para las mediciones.

El octavo capítulo es el de mediciones y resultados. En él se explica detalladamente el tipo de ensayos realizados y se muestran los resultados obtenidos. Además se hace una interpretación de los datos en función del factor de aislamiento.

En el noveno capítulo se desarrolla un presupuesto aproximado del proyecto, sin tener en cuenta la mano de obra, tanto para la fabricación, como la mano de obra por el desarrollo del proyecto.

En el décimo y último capítulo se exponen las conclusiones finales del proyecto, en función a los objetivos marcados en un inicio.

Por último, al final de la memoria, se incluyen las referencias usadas para las diferentes partes del proyecto y una serie de anexos, con los planos de los diferentes diseños y diversas documentaciones técnicas de materiales, dispositivos y sensores.

Capítulo 2. Estado del arte

Este capítulo se divide en tres apartados. En el primero se hace una introducción al campo magnético y sus propiedades. En el segundo se habla de la historia y los tipos de magnetómetros. Y por último en el tercero se habla sobre el apantallamiento electromagnético, los estudios realizados en la actualidad, y también se hace una pequeña introducción al mu-metal.

2.1 Conceptos básicos de magnetismo

Dentro de la rama de ingeniería mecánica, el uso de imanes y campos magnéticos, en general, está bastante extendido debido a la capacidad que tienen estos para generar fuerzas a distancia. Una gran cantidad de máquinas disponen de elementos imantados para su funcionamiento. Cojinetes magnéticos, presas magnéticas, relés, escuadras de soldaduras son sólo algunos ejemplos de imanes aplicados para el diseño mecánico.

Antes de entrar en los diferentes métodos de medidas, nos parece adecuado realizar un pequeño recordatorio de ciertos conceptos básicos de magnetismo, con el fin de que el lector comprenda mejor los términos utilizados en lo sucesivo.

El magnetismo es el fenómeno por el cual los materiales muestran una fuerza atractiva o repulsiva, o influyen en otros materiales. Ha sido conocido por cientos de años. Sin embargo, los principios y mecanismos que explican el fenómeno magnético son complejos y refinados, y su entendimiento fue eludido hasta tiempos relativamente recientes. Muchos de nuestros dispositivos modernos cuentan con materiales magnéticos, que incluyen generadores eléctricos y transformadores, motores eléctricos, radio y TV, teléfonos, computadores y componentes de sistemas de reproducción de sonido y video.

El hierro, algunos aceros y la magnetita son ejemplos bien conocidos de materiales que exhiben propiedades magnéticas. No tan familiar sin embargo, es el hecho de que todas las sustancias están influidas de una u otra forma por la presencia de un campo magnético.

La presencia de un campo magnético rodeando una barra imanada de hierro se puede observar por la dispersión de pequeñas partículas de hierro espolvoreadas sobre un papel colocado encima de una barra de hierro, como se ve en la figura 1.

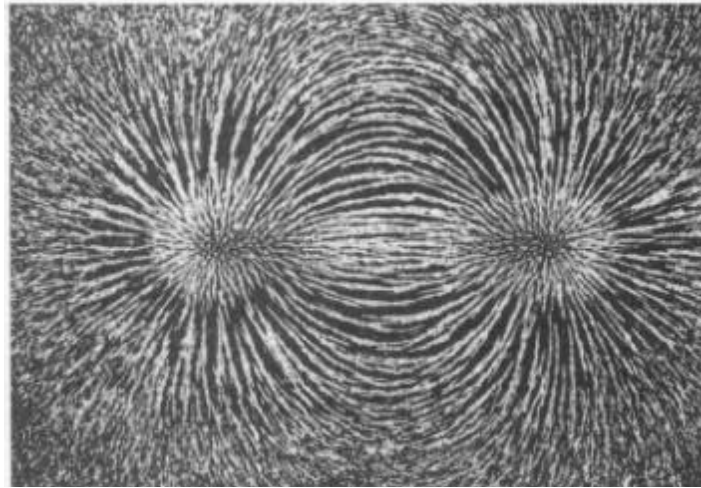


Figura 1. Polvo de hierro sobre una barra de hierro

La figura generada por dichas partículas muestra que la barra imanada tiene dos polos magnéticos y las líneas del campo magnético salen de un polo y entran en el otro. En general, el magnetismo presenta una naturaleza dipolar: siempre hay dos polos magnéticos ó centros del campo magnético, separados una distancia determinada.

Los campos magnéticos también son producidos por conductores portadores de corriente. La figura 2 muestra la formación de un campo magnético alrededor de solenoide, cuya longitud es mayor que su radio.

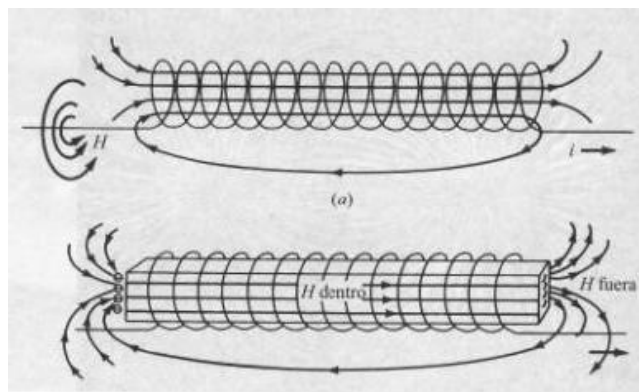


Figura 2. Campo magnético generado por un solenoide

Si se coloca una barra de hierro desimanada dentro del solenoide, se obtiene que el campo magnético exterior al solenoide es mayor con la barra imanada dentro del solenoide, (ver figura 2, inferior). El aumento del campo magnético fuera del solenoide se debe a la suma del campo generado por el solenoide y el campo magnético externo a la barra imanada. El nuevo campo magnético resultante se denomina inducción magnética, densidad del flujo o simplemente inducción, y se denota por B .

La inducción B es la suma del campo aplicado H y el campo externo proveniente de la imanación de la barra dentro del solenoide. El momento magnético inducido por

unidad de volumen debido a la barra se denomina intensidad de imanación o simplemente imanación y se denomina por M . En el SI de unidades:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M})$$

donde μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío.

Magnitud magnética	Unidades SI	Unidades CGS
B (inducción magnética)	Weber/metro ² o Tesla	Gauss
H (campo magnético)	Amperio / metro	Oesterd
M (imanación)	Amperio / metro	Oesterd
Factores numéricos de conversión: $1 \text{ A/m} = 4\pi \times 10^{-3} \text{ Oe}$ $1 \text{ Wb/m}^2 = 10^{-4} \text{ G}$ Constante de permeabilidad: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T m/A}$		

Tabla 1.- Unidades magnéticas

Cuando colocamos un material ferromagnético dentro de un campo magnético, aumenta la intensidad del campo magnético. Este incremento en la imanación se mide mediante una cantidad llamada permeabilidad magnética μ , definida como:

$$\mu = \frac{B}{H}$$

Si el campo magnético se aplica al vacío, $\mu_0 = \frac{B}{H}$ donde $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm / A}$

Algunas veces, es conveniente describir el comportamiento magnético de un sólido en términos de su permeabilidad relativa μ_r , dada por:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \text{ y } B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$$

Los materiales magnéticos que son fácilmente imanados tienen alta permeabilidad magnética.

Dado que la imanación de un material magnético es proporcional al campo aplicado, el factor de proporcionalidad, llamado susceptibilidad magnética χ_m , se define como:

$$\chi_m = \frac{M}{H}$$

Los tipos de magnetismos se originan por el movimiento de la carga eléctrica básica: el electrón. Cuando los electrones se mueven por un hilo conductor se genera un campo magnético alrededor del hilo.

Las propiedades magnéticas macroscópicas de los materiales son consecuencia de los momentos magnéticos asociados con electrones individuales. Cada electrón en un átomo tiene momentos magnéticos que se originan de dos fuentes. Una está relacionada con su movimiento orbital alrededor del núcleo; siendo una carga en movimiento, un electrón se puede considerar como un pequeño circuito cerrado de corriente, generando un campo magnético muy pequeño y teniendo un momento magnético a lo largo de su eje de rotación (ver figura 3).

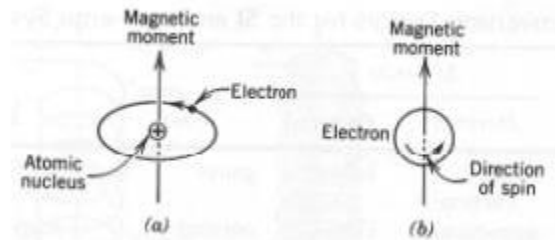


Figura 3. Mecanismo de generación del campo magnético

Los tipos de magnetismo incluyen diamagnetismo, paramagnetismo y ferromagnetismo. Además el antiferromagnetismo y el ferromagnetismo se consideran subclases de ferromagnetismo. Todos los materiales exhiben, al menos, uno de estos tipos y el comportamiento depende de la respuesta del electrón y los dipolos magnéticos atómicos a la aplicación de un campo magnético aplicado externamente.

2.1.1 Diamagnetismo

Es una forma muy débil de magnetismo que es no permanente y persiste solo mientras se aplique un campo externo. Es inducido por un cambio en el movimiento orbital de los electrones, debido a un campo magnético aplicado. La magnitud del momento magnético inducido es extremadamente pequeña y en dirección opuesta al campo aplicado. Por ello, la permeabilidad relativa μ_r es menor que la unidad (sólo muy ligeramente) y la susceptibilidad magnética, es negativa; o sea que la magnitud del campo magnético B dentro de un sólido diamagnético es menor que en el vacío. El diamagnetismo produce una susceptibilidad magnética negativa muy débil, del orden de $X_m = 10^{-6}$. Cuando un material diamagnético se coloca entre polos de un electromagneto fuerte es atraído hacia las regiones donde el campo es débil.

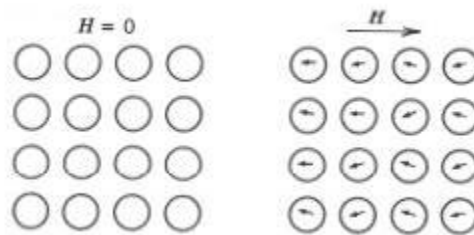


Figura 4. Orientación de los dipolos en un material diamagnético

La figura 4 ilustra esquemáticamente las configuraciones del dipolo magnético atómico para un material diamagnético con y sin campo externo. Aquí las flechas representan momentos dipolares atómicos. El diamagnetismo se encuentra en todos los materiales, pero solo puede observarse cuando otros tipos de magnetismo están totalmente ausentes. Esta forma de magnetismo no tiene importancia práctica.

2.1.2 Paramagnetismo

Para algunos materiales sólidos, cada átomo posee un momento dipolar permanente en virtud de la cancelación incompleta del espín electrónico y/o de los momentos magnéticos orbitales. En ausencia de un campo magnético externo, las orientaciones de esos momentos magnéticos son al azar, tal que una pieza del material no posee magnetización macroscópica neta. Esos dipolos atómicos son libres para rotar, y resulta el paramagnetismo cuando ellos se alinean en una dirección preferencial, y por rotación cuando se le aplica un campo externo (ver figura 5).

Estos dipolos magnéticos actúan individualmente sin interacción mutua entre dipolos adyacentes. Como los dipolos se alinean con el campo externo, se engrandecen, dando lugar a una permeabilidad relativa μ_r , mayor que la unidad, y a una relativamente pequeña, pero positiva, susceptibilidad magnética. El efecto del paramagnetismo desaparece cuando se elimina el campo magnético aplicado.

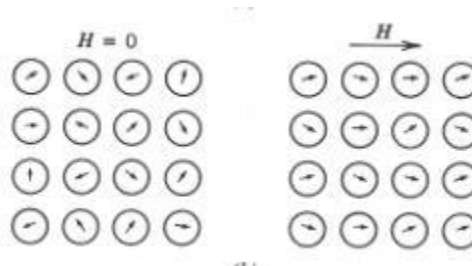


Figura 5. Dipolos magnéticos en un material paramagnético

2.1.3 Ferromagnetismo

Ciertos materiales poseen un momento magnético permanente en ausencia de un campo externo y manifiestan magnetizaciones muy largas y permanentes. Éstas son las características del ferromagnetismo y éste es mostrado por algunos metales de transición Fe, Co y Ni y algunos elementos de tierras raras, tales como el gadolinio (Gd).

En una muestra sólida de Fe, Co ó Ni, a temperatura ambiente, los espines de los electrones 3d de átomos adyacentes se alinean en una dirección paralela, por un fenómeno denominado imanación espontánea. Esta alineación paralela de dipolos magnéticos atómicos ocurre solo en regiones microscópicas llamadas Dominios Magnéticos.

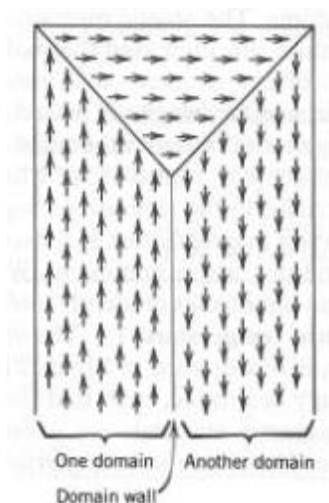


Figura 6. Dominios magnéticos en un material ferromagnético

Si los dominios están aleatoriamente orientados, entonces no se genera imitación neta en una muestra. Sin embargo en una muestra ferromagnética, los dominios adyacentes están separados por bordes de dominios o paredes, a través de las cuales cambia gradualmente la dirección de la magnetización (ver figura 6).

Dado que los dominios son microscópicos, en una muestra macroscópica habrá un gran número de dominios y puede haber diferentes orientaciones de magnetización. La magnitud del campo M para el sólido completo, es el vector suma de las magnetizaciones de todos los dominios, siendo la contribución de cada dominio de acuerdo a su fracción de volumen. Para las muestras no magnetizadas, el vector suma ponderado de las magnetizaciones de todos los dominios es cero.

2.1.4 Antiferromagnetismo

En presencia de un campo magnético, los dipolos magnéticos de los átomos de los materiales antiferromagnéticos se alinean por sí mismos en direcciones opuestas, como se puede observar en la figura 7.

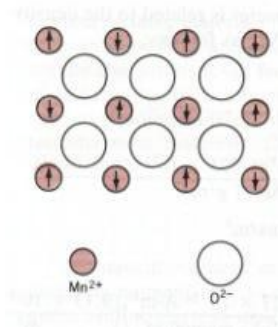


Figura 7. Orientación de los dominios magnéticos en un material antiferromagnético

2.2 Magnetómetros

Un magnetómetro es un instrumento que mide la intensidad y, a veces, también la dirección de un campo magnético.

El primer magnetómetro fue inventado en 1833 por Carl Friedrich Gauss. Durante el siglo XIX, notables desarrolladores incluyeron el Efecto Hall como forma de medida de campos magnéticos, el cual sigue ampliamente en uso en la actualidad. Los magnetómetros se pueden dividir en dos tipos: escalares y vectoriales.

Los magnetómetros se usan, mayoritariamente, para la medición del campo magnético terrestre y en estudios geofísicos, para detectar anomalías magnéticas de diferentes tipos.

En la actualidad más reciente, los magnetómetros han sido miniaturizados, con el objetivo de ser incorporados en circuitos integrados a un coste muy bajo. También ha aumentado su uso como brújula en dispositivos electrónicos como los móviles o las tablets.

2.2.1 Tipos

Los magnetómetros pueden ser divididos en dos tipos básicos:

- **Magnetómetros escalares**, que miden la intensidad total del campo magnético resultante al cual están siendo sometidos en un punto, pero no aporta ningún dato sobre las componentes vectoriales de campo.
- **Magnetómetros vectoriales**, que tienen la capacidad de medir la intensidad del campo magnético en una dirección particular, dependiendo de la colocación que le demos al dispositivo.

2.2.1.1 MAGNETÓMETROS ESCALARES

Magnetómetro de Precesión de Protón

También llamados Magnetómetros de protón. Un magnetómetro de protón mide la frecuencia de la resonancia de los protones (núcleos de hidrógeno) en el campo magnético para ser cuantificado, debido a la resonancia magnética nuclear (RMN). Esto es debido a que la frecuencia de precesión (cambio de la dirección de los ejes de movimiento) depende solo de la constante atómica y de la fuerza del campo magnético del ambiente. La precisión de este tipo de magnetómetros puede alcanzar 1 ppm.

Una corriente eléctrica en un solenoide crea un fuerte campo magnético alrededor de un fluido rico en hidrógeno (queroseno, incluso agua puede ser usada), causando que algunos de los protones se alineen entre ellos mismos y la dirección del

campo. Posteriormente la corriente es interrumpida, y los protones se realinean de nuevo según el campo magnético del ambiente, de esta forma la frecuencia de la precesión es directamente proporcional al campo magnético. Este efecto produce una débil rotación del campo magnético, que es recuperada para nuestra información mediante un inductor, amplificado electrónicamente, y alimentado por una frecuencia digital conjunta, de la que su output es un valor escalar y se muestra en pantalla como la intensidad del campo magnético.

Para este tipo de magnetómetros el rango de muestras suele ser menor de 1 muestra/ segundo. Las mediciones suelen ser normalmente tomadas con el sensor en posiciones fijas y con incrementos de 10 metros.

Los instrumentos portables son también limitados debido al volumen del sensor (peso) y la consumición de energía. De esta forma, los magnetómetros de protón trabajan en campos de gradientes de hasta $3,000 \text{ nT m}^{-1}$, el cual es adecuado para la mayoría de las explotaciones minerales. Para mayores gradientes en explotaciones de hierro o de grandes masas férricas, los magnetómetros Overhauser pueden alcanzar los $10,000 \text{ nT m}^{-1}$ y los Caesium los $30,000 \text{ nT m}^{-1}$. (Ver figura 8)



Figura 8. Magnetómetro de protón

Estos magnetómetros son baratos ($< 7000\text{€}$) y eran normalmente usados en explotaciones minerales. Existen tres fabricantes principales en el mercado: GEM Systems, Geometrics and Scintrex. Los modelos más populares son G-856, Smartmag, GSM-18 y GSM-19T.

Para explotaciones minerales han sido sustituidos por Overhauser y Cesio, ya que estos realizan ciclos más rápidos y no necesitan de un operador que realice la pausa entre lecturas de datos.

Magnetómetros de efecto Overhauser

También pueden ser llamados magnetómetros Overhauser. Estos dispositivos usan el mismo efecto fundamental que los magnetómetros de protón para recoger las medidas. Mediante la adición de radicales libres al líquido de medición, el efecto Overhauser nuclear puede ser usado para la mejora del magnetómetro de protón. En este

caso, se usará un pequeño campo de baja radio-frecuencia para crear el alineamiento (polarización) de los radicales libres, los cuales se acoplan a los protones mediante el efecto Overhauser (ver figura 9). Este método tiene dos ventajas principales:

- Mediante el uso de pequeños campos se necesita menor energía y, por tanto, baterías más ligeras y unidades portables.
- Tiene una mayor velocidad de muestreo, ya que el acoplamiento electrón-protón puede ocurrir incluso cuando las mediciones están siendo tomadas.



Figura 9. Magnetómetro Overhauser transportado por operario

Los magnetómetros Overhauser producen lecturas con entre 0.01 nT - 0.02 nT de desviación/ segundo de muestreo.

Magnetómetro de vapor Cesio

Los magnetómetros de vapor bombeado de Cesio son altamente sensitivos ($300\text{fT}/\text{Hz}^{1/2}$) y, gracias a su precisión, son usados en un amplio rango de aplicaciones. El Cesio es el vapor principal dentro de un gran número de vapores alcalinos (incluyendo rubidio y potasio) que son usados para este método, también el Helio.

El dispositivo se divide en tres fases claras. La primera consiste en la emisión de un fotón contenido en una emisión de luz de Cesio o una lámpara. La segunda es una sala de absorción que contiene vapor de cesio, que es un gas amortiguador a través del cual los fotones emitidos pasan. Y por último la tercera, que consiste en un detector de fotones que organiza en qué orden pasan.

El principio básico que permite que el dispositivo opere es el hecho de que el átomo de cesio puede existir en cualquiera de los nueve niveles de energía, el cual puede ser informalmente colocado en cualquiera de los orbitales alrededor del núcleo atómico. Cuando un átomo de cesio dentro de la sala se encuentra un fotón de la lámpara, éste es excitado a un nivel mayor de energía, emite un fotón y cae a un indeterminado nivel de energía. El átomo de cesio es sensible a los fotones procedentes

de la lámpara en tres de los nueve niveles de energía y, por tanto, asumiendo un sistema cerrado, todos los átomos caerán finalmente en un nivel en el cual todos los fotones procedentes de la lámpara pasarán, y serán medidos, a través del detector de fotones sin obstáculos. En este punto, la muestra estará polarizada y lista para la medición y la toma de datos. Este proceso se realiza de forma continua durante la operación y, de esta forma, estará preparado para su funcionamiento.



Figura 10. Magnetómetro de vapor de Cesio transportado por operario

El magnetómetro de cesio es típicamente usado donde los magnetómetros de protón no son suficiente. En arqueología y geofísica, donde el sensor barre a través de un área y se toman muchas medidas precisas de campo magnético son normalmente necesarios. El magnetómetro de cesio ha aventajado al magnetómetro de protón, (ver figura 10).

2.2.1.2 MAGNETÓMETROS VECTORIALES

Un magnetómetro vectorial mide una o más componentes del campo magnético electrónicamente. Usando tres magnetómetros ortogonales podríamos calcular todo el campo magnético en un punto. Realizando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los tres componentes, hallaríamos el valor de la resultante en módulo (también llamada intensidad magnética total, IMT) mediante el teorema de Pitágoras.

$$B_T = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$$

Los magnetómetros vectoriales están sujetos a cambios de temperatura y la inestabilidad dimensional de los núcleos férricos. Además, requieren de una buena nivelación para obtener la información, a diferencia de los magnetómetros escalares. Por estas razones, este tipo de magnetómetros no son usados en explotaciones minerales.

Magnetómetro de bovina rotativa

El campo magnético induce una onda sinodal en una bovina rotativa. La amplitud de la señal es proporcional a la fuerza del campo, proveyendo que es uniforme, y el seno del ángulo entre la rotación de los ejes de la bovina y de las líneas del campo. Este tipo de magnetómetros están obsoletos.

Magnetómetros de Hall effect

Los detectores magnéticos más comunes son los sensores solid-state Hall effect. Estos sensores producen un voltaje proporcional al campo magnético aplicado y también detectan la polaridad. Este tipo de magnetómetros son usados en aplicaciones donde la intensidad del campo magnético es relativamente larga, como en el ABS de los coches.



Figura 11. Magnetómetro de efecto Hall NMR de bolsillo

En la actualidad este tipo de dispositivos son usados en infinidad de aplicaciones y para diferentes ámbitos del día a día. Como se puede ver en la figura 11, también para usos médicos.

Magnetómetros magnetoresistentes

Este tipo de magnetómetros están hechos de delgadas tiras de permaloy (NiFe película magnética), cuya resistencia eléctrica varía con un cambio en el campo magnético. Estos dispositivos tienen un eje definido de sensibilidad, puede ser producido en versión 3-D y también puede ser producido en masa como un circuito integrado. Tienen un tiempo de respuesta por debajo de 1 microsegundo y pueden tomar muestras en elementos en movimiento de hasta 1000vueltas/segundo. Son usados en brújulas que leen dentro de 1°, para las cuales el sensor debe ser fiable por debajo de 0,1°.

Magnetómetros Fluxgate

Los magnetómetros Fluxgate fueron inventados en el siglo XX, en la década de los 30, por Victor Vacquier en los Laboratorios Gulf Research. Vacquier los aplicó durante la segunda guerra mundial como un instrumento para la detección de

submarinos y, después de la guerra, confirmó la teoría de las placas tectónicas usando estos magnetómetros para medir los movimientos en los patrones magnéticos en el suelo oceánico.

Un magnetómetro Fluxgate consiste de un pequeño, y magnéticamente susceptible, núcleo envuelto por dos bobinas de cable. Una corriente alterna pasa a través de una de las bobinas, conduciendo al núcleo a través de un ciclo alterno de saturación magnética: magnetizado, desmagnetizado, inversamente magnetizado y desmagnetizado. Estos cambios constantes de campo inducen una corriente en la segunda bobina, y esta corriente de salida es medida mediante un detector.

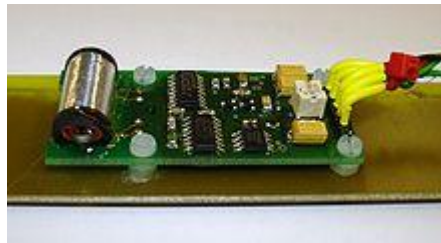


Figura 12. Magnetómetro Fluxgate uniaxial

En un ambiente neutro, la corriente de la bobina 1 y de la bobina 2 cambiará. Sin embargo, cuando el núcleo está expuesto a un campo magnético, este es fácilmente saturado cuando se alinea con el campo y difícilmente saturado cuando está al contrario. Por tanto, la alternancia del campo magnético y la corriente inducida no serán iguales que la corriente de la primera bobina. La diferencia entre estos parámetros es lo que marca la intensidad del campo magnético, dependiendo del ambiente. Por tanto, la corriente en la bobina de salida es integrada, consiguiendo un dato analógico de voltaje, proporcional al campo magnético.

El típico magnetómetro fluxgate consiste en una bobina (secundaria) envuelta en otra (primaria), y todo enrollado alrededor de un núcleo de material permeable. El funcionamiento es idéntico al anteriormente explicado.

Una amplia variedad de sensores están actualmente disponibles y son usados para medir campos magnéticos (ver figura 12). Brújulas Fluxgate (ver figura 13) y gradiómetros miden la dirección y magnitud de los campos magnéticos. Los Fluxgate son asequibles, resistentes y compactos. Gracias a su bajo consumo de energía, los hace ideales para una gran variedad de aplicaciones. Los gradiómetros son normalmente usados para arqueología retrospectiva y para detección de artillería enemiga, como la usaba el ejército alemán.



Figura 13. Brújula de Magnetómetro Fluxgate

Hay factores adicionales que afectan al tamaño de la señal resultante. Estos factores incluyen el número de enrollamiento de las bobinas, la permeabilidad del núcleo, la geometría del sensor y la puerta del rango de flujo que cambia respecto al tiempo. La detección de la fase síncrona es usada para convertir las señales armónicas a voltaje DC proporcional al campo magnético externo.

Magnetómetro SQUID

Los SQUID sirven para la medición de campos magnéticos extremadamente pequeños. Esta clase de dispositivos son muy sensibles, con niveles de ruido por debajo de $3 \text{ fT Hz}^{-1/2}$ en aparatos comerciales y de $0,4 \text{ fT Hz}^{-1/2}$ en aparatos para experimentación. Muchos consiguen un espectro liso de ruido procedente de DC (por debajo de 1 Hz) a decenas de kilohercios, haciendo que estos dispositivos sean ideales para medición de señales biomagnéticas de tiempo-dominio. Los magnetómetros atómicos SERF demostraron en laboratorios que estos dispositivos pueden ser competitivos solo a pequeños rangos de frecuencia.



Figura 14. Magnetómetro SQUID, equipo completo

Los magnetómetros requieren una refrigeración mediante Helio líquido ($4,2\text{K}$) o nitrógeno líquido (77K) para funcionar. Por lo tanto el aparato necesita ser usado de estrictamente de forma termo-mecánica y también desde el punto de vista magnético. Los magnetómetros SQUID son más comúnmente usados para medir campos magnéticos producidos por el cerebro o actividad cardiovascular

(magnetoencefalografía y magnetocardiografía). También se usan, en algunas ocasiones, estos dispositivos para estudios geofísicos, pero la logística es mucho más complicada que con los magnetómetros explicados anteriormente (ver figura 14).

Magnetómetros atómicos SERF

Con una suficientemente grande densidad atómica, se puede conseguir una gran sensibilidad en la detección. Los magnetómetros SERF contienen vapor de potasio, cesio o rubidio y funcionan de forma similar a los magnetómetros de cesio explicados anteriormente, pero podemos alcanzar sensibilidades aun menores de hasta $1 \text{ fT Hz}^{-1/2}$. Estos magnetómetros se usan solo para pequeños campos magnéticos. El campo magnético terrestre es de unos $50 \text{ } \mu\text{T}$. Los SERF operan en campos por debajo de $0,5 \mu\text{T}$.

Los detectores de largo volumen han conseguido una sensibilidad de $200 \text{ aT Hz}^{-1/2}$. Esta tecnología tiene una mayor sensibilidad por unidad de volumen que los detectores SQUID. La tecnología puede también fabricar magnetómetros muy pequeños, que podrían en el futuro reemplazar a bovinas en la detección de cambios en campos magnéticos. Esta tecnología podría fabricar un sensor magnético que tenga todas las señales de entrada y salida de la forma de luces o de los cables de fibra óptica. Esto permitiría las mediciones magnéticas en lugares donde existen altos voltajes eléctricos.

2.2.2 Usos

Los magnetómetros tienen muy diversas aplicaciones, incluyendo la localización de objetos como submarinos, barcos hundidos, peligros para tuneladoras, peligros en minas de hierro, zonas inexploradas, zonas toxicas, y también para un amplio rango de depósitos minerales y estructuras geológicas.

También tienen aplicaciones en monitores del pulso del corazón, sistemas de posicionamiento de armas, sensores de ABS, para predicciones del tiempo (ciclos solares), torres de alta tensión, sistemas de guía de perforadoras, arqueología, placas tectónicas y propagación de ondas de radio y exploración planetaria.

Dependiendo de la aplicación, los magnetómetros pueden ser colocados en naves espaciales, aeroplanos (en las alas), helicópteros, en tierra (mochilas), remolcados, dentro de perforaciones y remolcados dentro de botes.

Arqueología

Los magnetómetros son usados para detectar zonas arqueológicas, naufragios y otras cosas enterradas o sumergidas. Los gradiómetros fluxgate son populares debido a su configuración compacta y su bajo coste. Los gradiómetros mejoran las características a poca superficie y no necesitan una estación base. Los magnetómetros de cesio y

Overhauser son también muy efectivos cuando se usan como gradiómetros o como sistema de sensor unitario con estación base.

Auroras

Los magnetómetros pueden dar una indicación sobre la actividad auroral antes de que la luz procedente de la aurora se convierta en visible. Una red de magnetómetros alrededor del mundo constantemente realiza mediciones sobre el efecto del viento solar sobre el campo magnético terrestre, como se publica en K-index.

Exploración de carbón

Aunque los magnetómetros pueden ser usados para ayudar a realizar mapas de escala regional, normalmente son usados para encontrar lugares peligrosos en minas de carbón, como intrusiones de basalto que destruyen fuentes de recursos y son peligrosas para los equipamientos. Los magnetómetros pueden también localizar zonas ígneas o zonas de carbón impuro.

El mejor resultado de un estudio de alta resolución se ha conseguido sobre suelo. Los magnetómetros en perforación, usando un Ferret, pueden funcionar incluso cuando el carbón está muy profundo, mediante el uso de apoyos o mirando por debajo de la superficie de basalto.

Los estudios modernos generalmente usan magnetómetros con GPS para grabar automáticamente los datos de campo magnético y su localización. Los datos son luego corregidos mediante el uso de un segundo magnetómetro, que se encuentra en la estación base midiendo las variaciones del campo magnético terrestre durante la realización de dicho estudio.

Perforación direccional

Los magnetómetros son usados en perforación direccional para perforaciones de petróleo o gas, para detectar el azimuth de las herramientas de perforación cerca del yacimiento. Además suelen ir montados con acelerómetros en las herramientas de perforación para encontrar el azimuth en perforaciones con inclinación.

Militar

Para propósitos defensivos, los navíos usan conjuntos de magnetómetros puestos en el suelo marino en puntos estratégicos (alrededor de los puertos) para monitorizar la actividad de submarinos. Los submarinos rusos 'Goldfish', construidos con titanio, fueron diseñados y construidos, con un gran coste, para evitar este tipo de sistemas, ya que el titanio no es magnético. En la actualidad países como USA, Canada y Australia han desarrollado los magnetómetros más sensibles en el aspecto militar, y controlan su distribución.

El sonar de los submarinos detecta barcos y puede también reconocer diferentes sonidos de hélice. Pero necesitan de una gran precisión posicional para poder triangular

las direcciones de los objetivos. Los sonar no funcionan en línea recta, por eso los magnetómetros fluxgate son usados para orientar cada nodo del sonar en la matriz.

Los fluxgate pueden ser usados también en sistemas de navegación de armamento, pero han sido sustituidos por GPS y giroscopios de laser en la actualidad.

Los magnetómetros como el German Foster son usados para localizar artillería férrea. Los magnetómetros de cesio y Overhauser son usados para localizar y ayudar a limpiar viejos campos de minas, o zonas con bombas perdidas.

Exploracion mineral

Los estudios magnetométricos pueden ser útiles para encontrar anomalías magnéticas, las cuales representan el hallazgo de una mena (detección directa), o en algunos casos mineral ganga que se asocia con depósitos de mena (detección indirecta). Esto incluye menas de hierro, magnetita, hematita y normalmente pirrotita.

Países del primer mundo, como Australia, Canada y USA han invertido mucho en estudios aéreos magnéticos en sus respectivos continentes y sus proximidades oceánicas, usando aviones como el Shrike Commander, para generar un mapa geológico y el descubrimiento de depósitos minerales. Estudios como el aeromag son normalmente emprendidos con 400m de espacio lineal y 100m de elevación, con lecturas cada 10m. Para solucionar la asimetría en la densidad de datos, estos son interpolados entre líneas (normalmente 5 veces) y los datos a lo largo de la línea son promediados. Después, la información se procesa mediante un programa, como ERMMapper, para pixelar y crear una imagen.

Hay muchas interpretaciones de los datos para una exploración mineral. Varios objetivos se mezclan juntos como múltiples zonas ‘calientes’ de fuentes de recursos, pero no hay un telescopio magnético para enfocar los campos. Por lo tanto, la combinación de múltiples fuentes de recursos es medida en la superficie. La geometría, profundidad o la dirección de magnetización (remanencia) de los objetivos es generalmente desconocida y, por ello, siempre existen varios modelos diferentes que pueden explicar unos mismos datos.

Móviles

Muchos smartphones contienen magnetómetros, ya que hay aplicaciones que sirven de brújulas. El iPhone 3GS (ver figura 15) tiene un magnetómetro, un sensor magnetoresistivo, el AN-203 producido por Honeywell. En 2009, el precio de los magnetómetros triaxiales costaba menos de 1€ por dispositivo y baja rápidamente. El uso de estos dispositivos triaxiales significa que el campo será medido en cualquier posición, independiente de la orientación y la altura. Los dispositivos de Hall effect son también populares.



Figura 15. Brújula en un móvil I-phone 3G S

Las investigaciones de Deutsche Telekom han usado magnetómetros dentro de los móviles para permitir interacción 3D sin contacto. La interacción de la carcasa, llamada MagiTact, rastrea cambios en el campo magnético alrededor del móvil para identificar diferentes gestos hechos con la mano mientras se sostiene un imán.

Naves espaciales

Los magnetómetros fluxgate traxiales fueron parte de las misiones Mariner 2 y Mariner10. Una técnica dual de magnetómetros es parte de la misión Cassini-Huygens para explorar Saturno. Este sistema está compuesto por un vector Helio y un magnetómetro fluxgate. Los magnetómetros son también un instrumento en la misión Messenger en Mercurio.

Los magnetómetros también pueden ser usados por satélites como GOES para medir la magnitud y la dirección de un campo magnético de un planeta o luna.

2.3 Apantallamiento Magnético (Magnetic shielding)

2.3.1. Introducción

Por el término pantalla entendemos la superficie que constituye una limitación ó atenuación del campo electromagnético. La pantalla no tiene por qué ser una superficie real, sino que el término hacer referencia a la disminución del acoplo entre los circuitos o equipos situados a uno y otro lado de la pantalla. Todos los apantallamientos prácticos se pueden considerar como “pantallas generalizadas”, ya que tienen algún tipo de discontinuidad.

Un apantallamiento real puede ser cualquier recinto cerrado que se utilice para disminuir el campo electromagnético en su interior, aunque en el caso real debemos

tener en cuenta las aberturas y una serie de factores, como pueden ser la interconexión entre cables y la re-radiación de los mismos, por lo que a la hora de escoger un apantallamiento acorde con nuestras necesidades, necesitamos conocer una serie de factores del habitáculo en el que queremos ver atenuado el efecto de los campos.

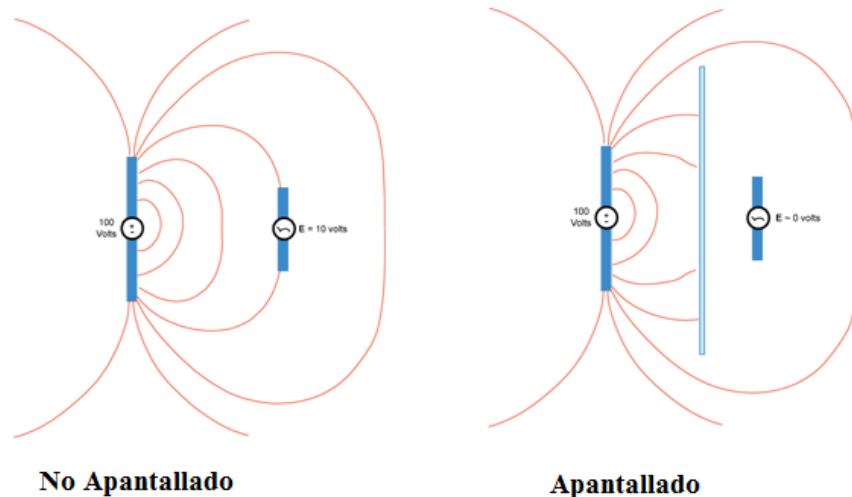


Figura 16. Muestra de apantallamiento magnético

Los campos eléctricos se pueden apantallar utilizando conductores de manera más o menos efectiva, mientras que los campos magnéticos son más difíciles de apantallar. La razón de dicho efecto es la propia naturaleza de los campos eléctrico y magnético, mientras que las líneas de campo eléctrico nacen en manantiales y mueren en sumideros, lo cual hace que las líneas de campo nazcan y mueran en sitios que pueden ser, a priori, diferentes.

El hecho de que no existan monopolos magnéticos aislados, lo que queda reflejado en la ecuación de Maxwell ($\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$), provoca que el campo magnético sea mucho más difícil de apantallar, ya que las líneas de campo nacen y mueren en el dipolo magnético. Aunque las líneas de campo magnético pueden viajar a través de cualquier material, hay determinados materiales por los que pueden viajar con mayor facilidad, como pueden ser el hierro o el acero (ver figura 16).

A continuación, vamos a ver modelos que tratan de dar una explicación al fenómeno del apantallamiento del campo magnético.

2.3.2 Factor de apantallamiento

Para conseguir cuantificar el apantallamiento magnético se han creado diversas formulas que dan un valor de apantallamiento, a través del cual podemos saber si se está logrando el apantallamiento o no.

En la primera fórmula se hace en función de la diferencia entre el campo a un lado y al otro del apantallamiento, y tiene unidades de medida (dB). En este caso, cuanto mayor es el valor de S, mayor es el apantallamiento logrado.

$$S(dB) = 20 \cdot \log \frac{E, H_{int}}{E, H_{ext}}$$

En el segundo caso se trata de un factor que varía entre 0-1, de esta forma si S está cerca de 0 es que se está consiguiendo un apantallamiento perfecto, y si se aproxima a 1 es que no se está consiguiendo casi apantallar el campo. Con este factor, se observa el aislamiento de un campo externo, eliminando el campo residual procedente del ambiente.

$$S = \frac{B_i - B_{amb}}{B_0 - B_{amb}}$$

B_i , campo medido en unas condiciones de apantallamiento y con imán.

B_0 , campo medido sin apantallamiento y con un imán que aporta el campo magnético

B_{amb} , campo medido sin imán y sin apantallamiento

Ambos factores son correctos y dan valores válidos de apantallamiento. Para la realización de este proyecto se ha utilizado el segundo, ya que se usa un imán para generar un campo magnético externo.

2.3.3 Estudios de apantallamiento magnético

Comenzaremos por explicar los estudios que hablan sobre la importancia de los materiales a la hora de conseguir un apantallamiento magnético. Un estudio de gran valor en este sentido fue ‘Apantallamiento del campo electromagnético’ de Luis Muñoz Mato. En dicho estudio se ve la relevancia de la permeabilidad relativa del material a la hora de conseguir el apantallamiento magnético, (ver figuras 17 y 18).

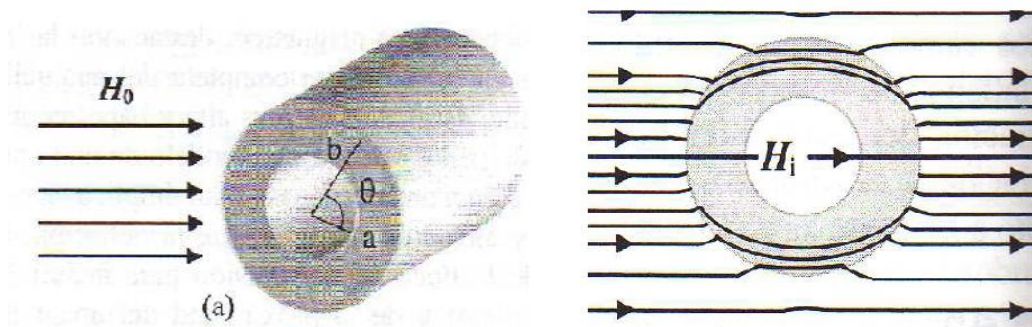


Figura 17 y Figura 18. Apantallamiento magnético en el interior de un cilindro

Si $\mu_r=1$ (material no magnético), entonces $H_0=H_i$.

$$H_i = \frac{4H_0\mu_r p}{(\mu_r^2 + 1)(p-1) + 2\mu_r(p+1)}$$

Como se ve en el gráfico de la figura 19, se demuestra que a mayor permeabilidad relativa del material, mayor es su factor de apantallamiento y, por tanto, es mejor aislador magnético.

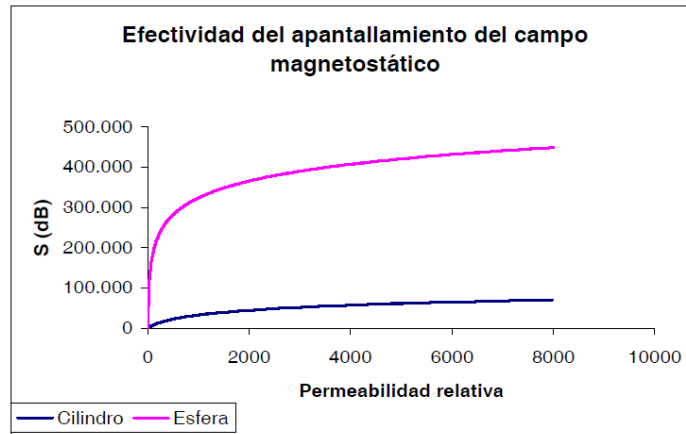


Figura 19. Factor de apantallamiento Vs permeabilidad del material

Además, en este estudio, se observa la relevancia del espesor de la pared de material a la hora de conseguir el aislamiento. Como se puede ver en la gráfica de la figura 20. Como era de esperar, a mayor espesor de la capa aisladora, mejor es el apantallamiento.

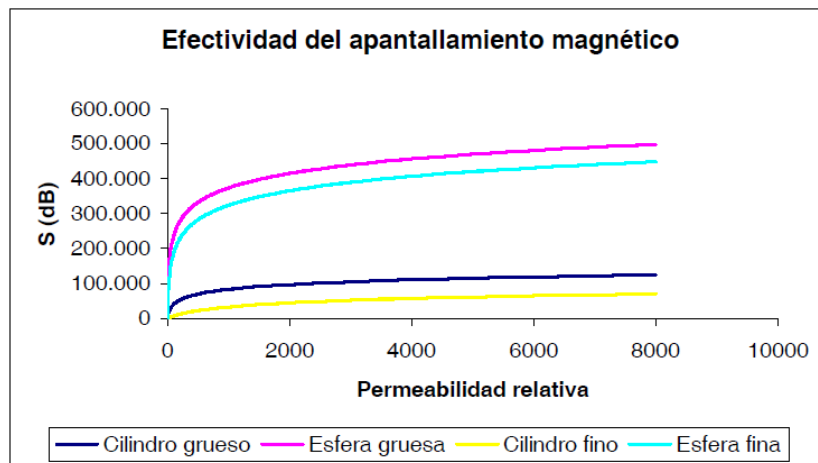


Figura 20. Factor de apantallamiento Vs Permeabilidad y espesor

En estos últimos años se han realizado gran número de estudios relacionados con el apantallamiento magnético. En estos estudios se realizan diferentes ensayos variando diferentes factores, para tratar de determinar cómo afecta cada uno de ellos al

apantallamiento. Los ensayos más habituales son en los que se determina el factor de apantallamiento en función de la **distancia**, del **tipo de material** usado para apantallar y del **campo externo** al que sometemos el apantallamiento.

De esta forma en el estudio, ‘Magnetic Shielding Performance of Thin Metal Sheets Near Power Cables’, se puede observar como varía el factor de apantallamiento en estos casos, tanto para la distancia, tipo de material, como para el campo magnético externo. Se pueden ver los resultados en los gráficos de la figura 21.

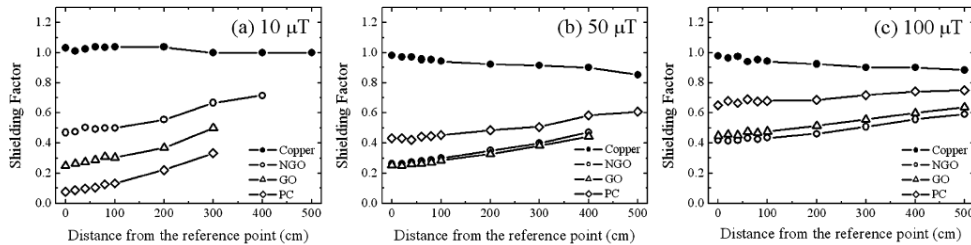


Fig. 3. Shielding factor as a function of distance: magnetic field of (a) 10, (b) 50, and (c) 100 μT at the reference point by three-phase electric currents. The increase of shielding factor in the magnetic materials is due to the unshielded parts of the PVC conduit.

Figura 21. Gráficos de factor de apantallamiento del estudio Magnetic Shielding Performance of Thin Metal Sheets Near Power Cables’

En este estudio se observan las variaciones entre materiales. También se ve como el aislamiento se consigue en mejor medida cuando el campo es más pequeño, y también que el apantallamiento es mejor cuanto menor es la distancia.

Hay otros estudios de este tipo, también con excelentes resultados. Como pueden ser: ‘Effective combination of soft magnetic materials for magnetic shielding’ y ‘Magnetic shielding effectiveness of iron-based amorphous alloys and nanocrystalline composites’.

Otro estudio de gran importancia ha sido, ‘Experimental performance investigation of double-layer shields at power frequency magnetic shielding’. En dicho estudio se realizan ensayos sobre la capacidad de aislamiento magnético de una tubería en función a la distancia a dicha tubería, en función de las capas de aislamiento usadas para la fabricación de la tubería, como se puede ver en la figura 22.

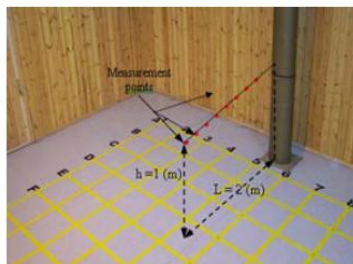


Fig. 3. Basic source configuration and measuring points.

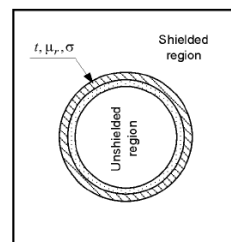


Fig. 1. A geometrical model of cylindrical double-layer shielding systems.

Figura 22. Estudio multicapa: ‘Experimental performance investigation of double-layer shields at power frequency magnetic shielding’

De esta forma se llegaron a los siguientes resultados en función del Shielding factor (ver figura 23):

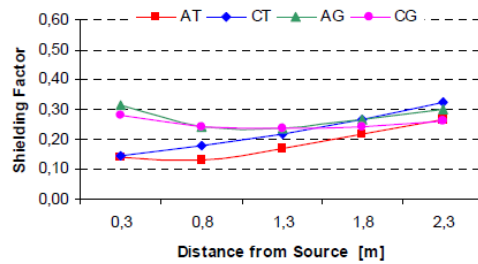


Fig. 6. The shielding factors for double-layer shielding with Conductive- Ferromagnetic shields.

Figura 23. Gráfico del factor de apantallamiento Vs distancia/tipo de aislamiento

Para acabar, hablaremos de un estudio de mejora actual en el que se trataba de mejorar el aislamiento de un súper-imán. Para ello se realizaron estudios sobre configuraciones en forma de laminas formando un hexágono (ver figura 24). Este estudio se llama, ‘Iron magnetic shielding of the series hybrid magnet’ y fue realizado por Yuhu Zhai y Mark D. Bird. Los resultados teóricos fueron excelentes.

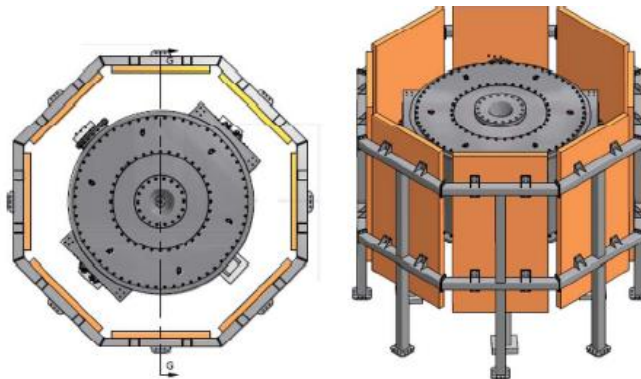


Fig. 6. Supporting structure of the iron magnetic shield.

Figura 24. geometría de apantallamiento en el estudio ‘Iron magnetic shielding of the series hybrid magnet’

En la actualidad cada día se plantean más proyectos de gran nivel sobre aislamiento magnético, y cada día se está evolucionando más en los éxitos en esta modalidad.

2.3.4 Mu-metal

Por último, hablaremos del material con el que se intentarán conseguir los mejores resultados de aislamiento magnéticos en este proyecto. Dicho material es el mu-metal, y en la actualidad es el material con el que se están logrando muy buenos resultados.

Historia

El Mu-metal fue desarrollado por los científicos Willoughby S. Smith y Garnett y patentado en 1923 para carga inductiva de cables telegráficos submarinos por The Telegraph Construction and Maintenance Co. Ltd. (now Telcon Metals Ltd.), una empresa británica que construyó los cables submarinos del telégrafo a través del Atlántico. El agua del mar que rodea a un conductor de cable submarino agregaba una gran cantidad de capacitancia al cable, lo que limitaba el ancho de banda y desaceleraba la velocidad de la señal de 10 a 12 palabras por minuto. El ancho de banda podría aumentarse mediante la adición de inductancia para compensar. Esto se hizo por primera vez envolviendo los conductores con una envoltura helicoidal de cinta de metal o alambre de alta permeabilidad magnética, que limitaba el campo magnético. El Mu-metal fue inventado añadiendo cobre a la anterior aleación de alta permeabilidad (Permalloy) para mejorar la ductilidad. 50 millas de alambre fino de mu-metal se necesitaban por cada milla de cable, lo que generó una gran demanda de la aleación. Durante el primer año de producción, Telcon era capaz de producir 30 toneladas por semana. En la década de 1930 este uso del mu-metal decayó, pero debido a la Segunda Guerra Mundial se encontraron otros muchos usos en la industria electrónica (en particular, el blindaje de transformadores, y tubos de rayos cátodicos), así como para las espoletas en el interior de las minas navales magnéticas.

Composición

El Mu-metal es una aleación de níquel-hierro (aproximadamente 75% de níquel, 15% de hierro, además de cobre y molibdeno) que tiene una permeabilidad magnética muy alta. La alta permeabilidad hace al mu-metal muy eficaz en la detección de campos magnetoestáticos o de baja frecuencia, que no puede ser atenuada por otros métodos. El nombre procede de la letra griega mu (μ), que representa la permeabilidad. Diferentes variantes de la aleación se venden bajo nombres comerciales tales como Mumetal, MuMetal y MuShield.

El Mu-metal puede tener permeabilidades relativas de 80.000-100.000 en comparación con los valores de 10.000-20.000 de los aceros no aleados. Además tiene baja coercitividad y magnetostricción lo que da como resultado que la pérdida por histéresis sean bajas. Sus propiedades magnéticas son similares a otras aleaciones de alta permeabilidad como Permalloy, pero es más dúctil y manejable.

Los objetos de mu-metal requieren un tratamiento térmico después de que adoptan su forma definitiva. Este recocido en un campo magnético en atmósfera de hidrógeno, al parecer aumenta la permeabilidad magnética alrededor de 40 veces. El recocido altera la estructura cristalina del material, alineando los granos y eliminando algunas impurezas, especialmente de carbono, que impiden el movimiento libre de los límites de los dominios magnéticos. La flexión o la aplicación de golpes después del recocido pueden alterar la alineación de granos del material, dando lugar a una disminución de la permeabilidad de las zonas afectadas, que puede ser restaurada mediante la repetición de la etapa del recocido en atmósfera de hidrógeno.

Aplicación principal: La protección magnética

La alta permeabilidad del mu-metal proporciona una ruta de baja resistencia para el flujo magnético, lo que lleva a su uso principal, en escudos magnéticos contra campos magnéticos estáticos o que varían lentamente (ver figura 25). La protección magnética realizada con aleaciones de alta permeabilidad como las piezas de mu-metal y no mediante el bloqueo de los campos magnéticos, sino por derivación de ellos, establece una ruta para las líneas de campo magnético alrededor de la zona blindada. Así que la mejor forma para los escudos es la de un recipiente cerrado que rodea el espacio protegido. La eficacia de la protección con mu-metal disminuye con la permeabilidad de la aleación, que deja pasar tanto a los campos de intensidad baja como, debido a la saturación, a los campos de intensidad alta. Así los escudos de mu-metal están a menudo en forma de varios recintos, unos en el interior del otro, cada uno de los cuales reduce sucesivamente el campo en su interior. Los campos magnéticos de RF (radiofrecuencia) por encima de unos 100 kHz pueden estar protegidos por escudos de Faraday, chapas conductoras o pantallas ordinarias que se utilizan para protección contra los campos eléctricos.



Figura 25. Una caja construida con mu-metal de cinco-capas reduce el campo magnético de la Tierra aproximadamente 5000 veces

Estudios de Mu-Metal

Durante estos últimos años se han realizado infinidad de estudios sobre el comportamiento del mu-metal como aislante magnético. En casi todos se han conseguido conclusiones positivas, y, por ello, su implementación en este aspecto va en aumento.

Los estudios más recientes se enfocan en cuanto a la forma de las capas protectoras de mu-metal, ya sea en láminas como en ‘Incremental permeability of mu-metal in low magnetic fields for the design of multilayer-type magnetically shielded rooms’ o en tuberías, como podemos ver en este otro estudio ‘A high performance magnetic shield with large length to diameter ratio’, ver figura 26 y 27.

Capítulo 3. Diseño del Magnetómetro

El diseño va enfocado al sistema de medición del sensor de efecto Hall A1301EUA, el cual mide el campo como se ve en la figura 28. La dirección de medición es la componente del campo magnético que entra perpendicular a la dirección de las patillas.

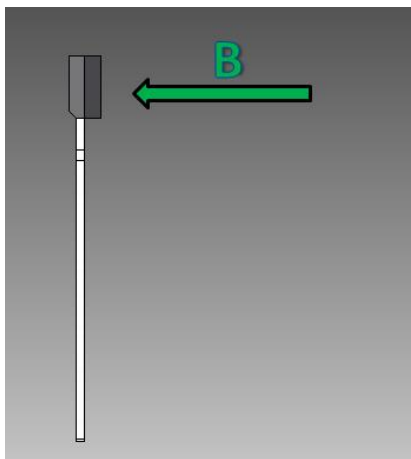


Figura 28. Sistema de medición del sensor de efecto Hall A1301EUA-T

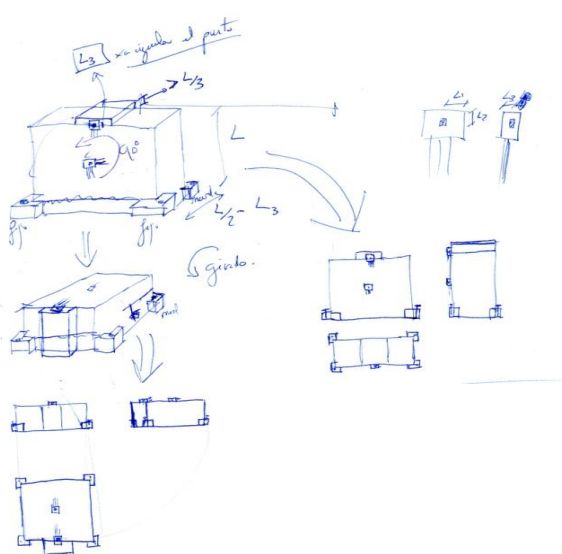
Durante la realización de este proyecto se ha realizado el diseño de dos tipos de magnetómetros triaxiales, uno mediante el uso de 3 sensores de efecto Hall, en el cual cada uno mide una de las componentes del vector de campo magnético. Y otro mediante el uso de un solo sensor de efecto Hall, para este, se han realizado estudios sobre cómo conseguir medir con el mismo sensor en tres posiciones diferentes, sin variar el punto de medición.

A continuación se ha realizado un seguimiento de los primeros diseños y su evolución. Se ha dividido esta sección entre el diseño mediante un solo sensor y el diseño de los tres sensores.

3.1 Diseño del magnetómetro triaxial mediante un solo sensor defecto Hall

Como en cualquier proceso de diseño se ha comenzado con una fase de diseños simples, esbozos, siempre buscando que el sensor ocupase el mismo punto tras la realización de los tres giros y pudiéndose así lograr la más precisa de las mediciones del campo magnético en las tres direcciones del sistema triaxial de ejes. Desde el inicio se ha basado el diseño en dos ideas:

- En la geometría de paralelepípedos
- En un mecanismo de triple giro



Otra opción que se ha tenido en cuenta son los raíles. Usar formas paralelepípedas que hicieran tope y otras formas que, mediante raíles, pudiesen lograr las tres posiciones ortogonales que se buscaban para el diseño (ver figura 30). La idea de tres carriles es viable para nuestro objetivo.

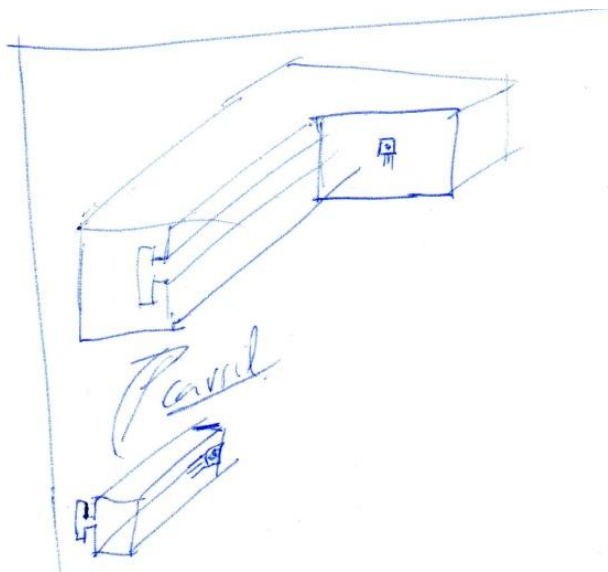


Figura 30. Boceto sobre diseño mediante paralelepípedos y guías

PROBLEMAS:

- Complejidad en la fabricación
- Posible falta de ajuste de la guía

Tras estos primeros esbozos, se ha iniciado el diseño en Solid Edge, y se ha decidido priorizar la idea del bloque fijado por escuadras por delante de la idea de los raíles. Para el uso de un solo sensor, y sin tener que introducir excesivas complicaciones en el proceso de fabricación, se ha decidido realizar el diseño mediante un cubo seccionado, tal que nos permitiese pegar el sensor en algún lugar de la sección y mediante posiciones diferentes del cubo lograr la medición triaxial.

Como primer diseño se ha buscado ese tipo de cubo seccionado, pero con tres taladros que permiten que una tercera pieza, que es la que lleva pegado el sensor, pueda ser montada en las tres respectivas posiciones. También se han diseñado un par de escuadras que permitiesen fijar el cubo a la base (ver figura 31).

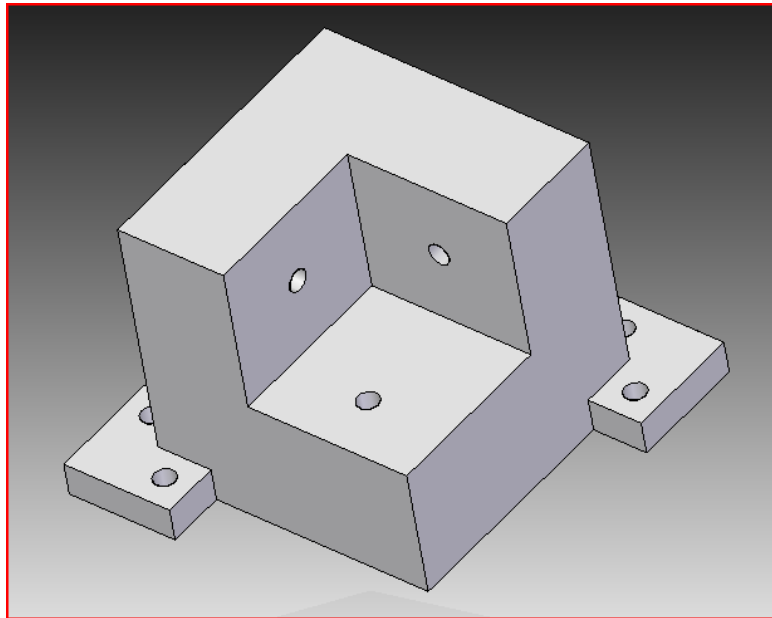


Figura 31. Diseño en Solid Edge del cubo seccionado con taladros

PROBLEMAS:

- Poco práctico, demasiado engorroso tener que atornillar y desatornillar cada vez que fuésemos a cambiar el sensor de eje.
- Si el cubo estuviese fijado sobre una base habría dificultades para atornillar la posición de la base.

Por tanto, tras estas observaciones se ha decidido simplificar el diseño, que el sensor fuese pegado al cubo, y el cubo realizase el giro en las tres posiciones. De esta forma, se solucionan los dos problemas anteriores a la vez, como se observa en la figura 32.

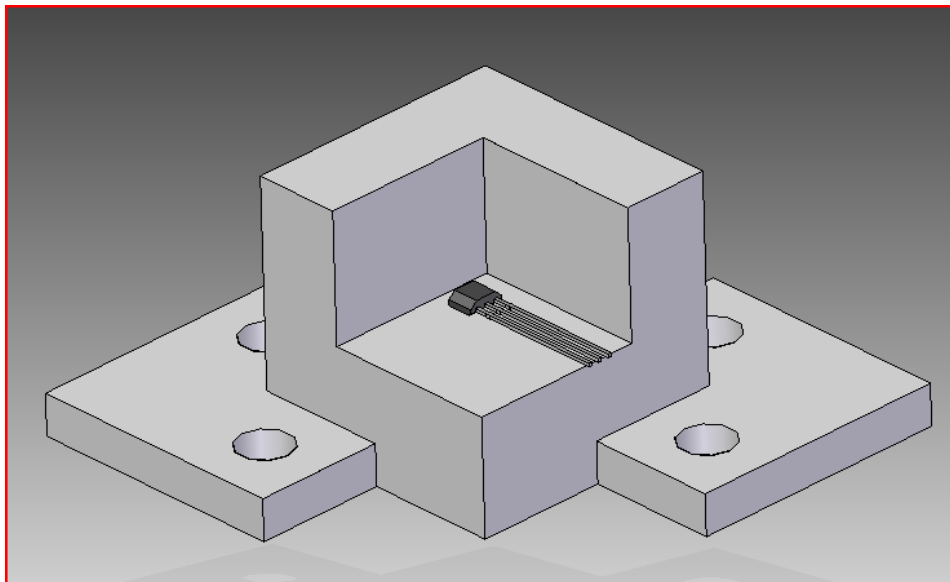


Figura 32. Diseño en Solid edge del cubo seccionado con sensor pegado y fijado con escuadras

PROBLEMAS:

- Las dimensiones del cubo son excesivas. Solo es necesario que la cabeza del sensor este apoyada en la superficie del cubo, las patillas pueden salir por fuera.
- Las escuadras son un sistema poco práctico a la hora de una fijación de todo el magnetómetro sobre una superficie.

Diseño definitivo del magnetómetro mediante cubo seccionado

Para solucionar los problemas anteriores se ha realizado una reducción del cubo al máximo posible, diseñando el cubo con un centímetro de arista. Respecto al soporte, se ha ideado un sistema más rígido sobre el cual montar el cubo y que pueda ir atornillado a dicho soporte. De la misma manera, dicho soporte tiene dos taladros que permiten fijarlo a cualquier base plana que se necesite. Como el cubo tiene tres posiciones de medición diferentes, se han diseñado taladros en las caras necesarias para poder fijar el cubo al soporte en las tres posiciones.

En las figuras 33, 34 y 35 se puede observar la situación de soporte, cubo y sensor en las 3 posiciones para la medición ortogonal del campo magnético:

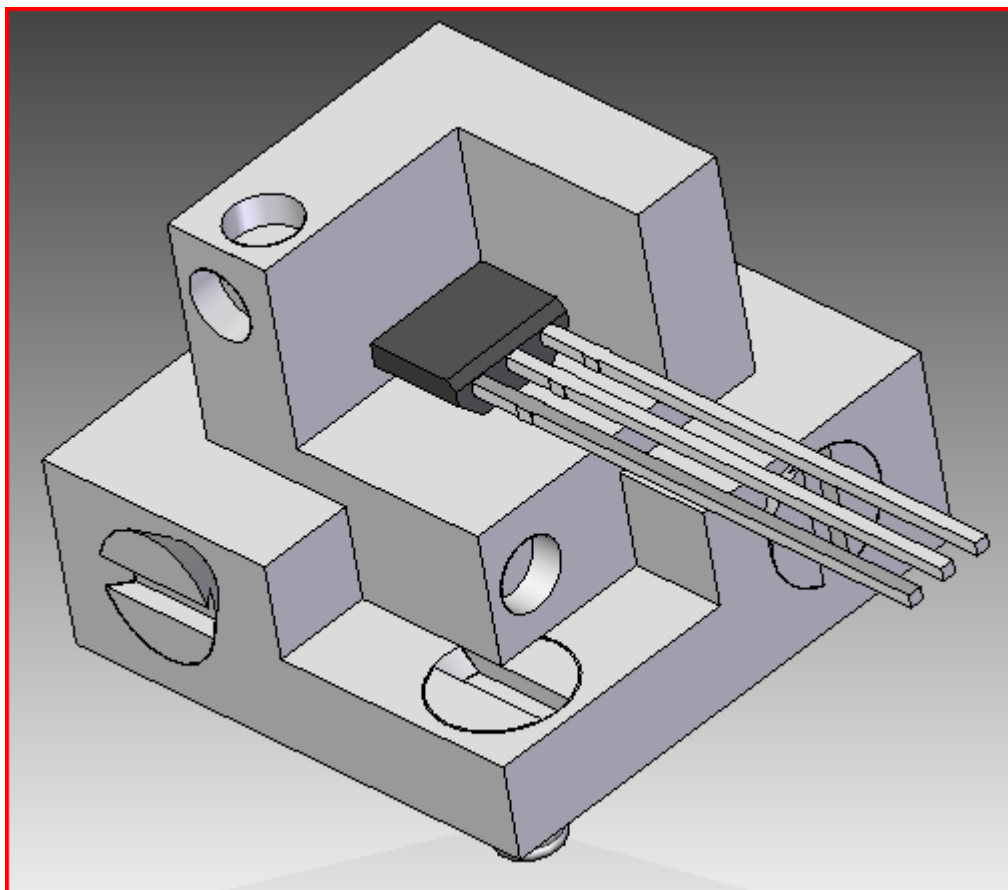


Figura 33. Diseño final en Solid Edge de cubo seccionado, posición 1

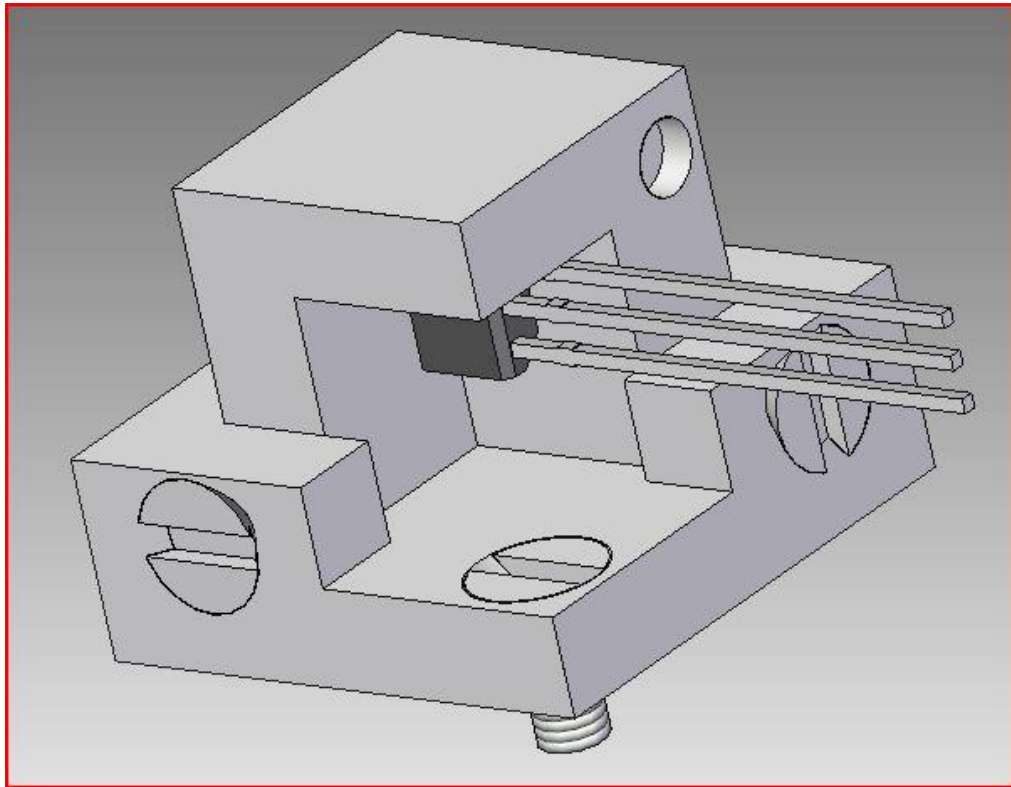


Figura 34. Diseño final en Solid Edge de cubo seccionado, posición 2

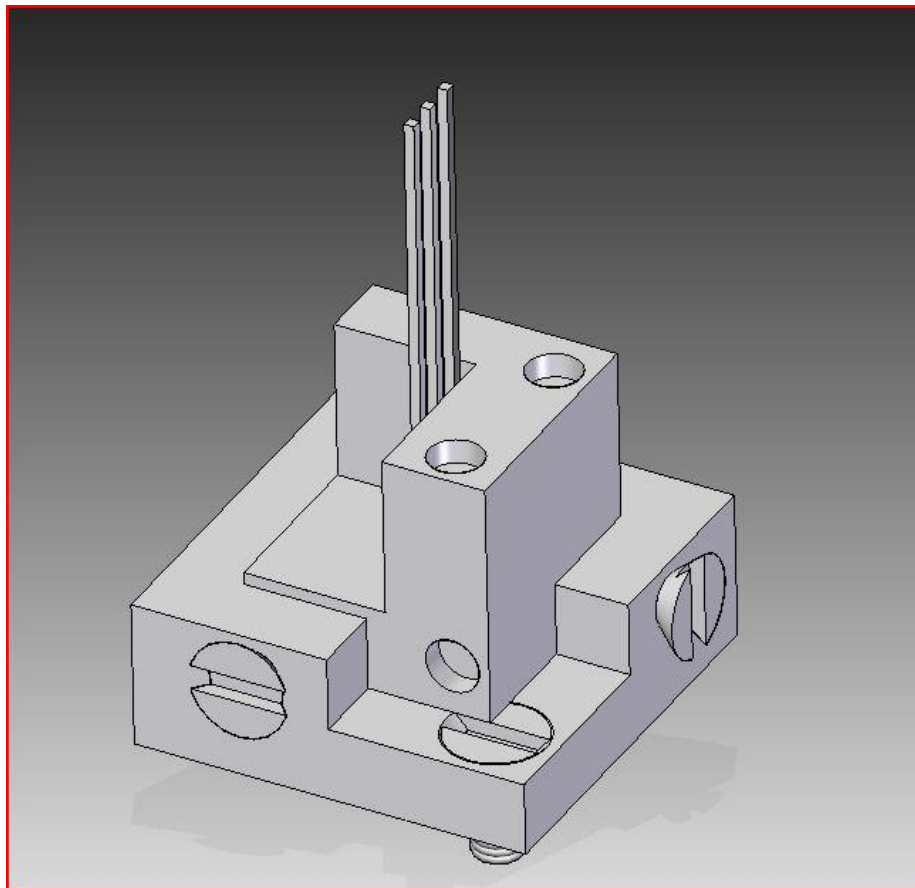


Figura 35. Diseño final en Solid Edge de cubo seccionado, posición 3

3.1.2 Diseño mediante mecanismo de giros

Como en el anterior diseño, se ha comenzado con una fase de bocetos, que nos diesen una idea acerca de cómo efectuar el diseño final en Solid Edge. Por eso, a la hora de diseñar un mecanismo de giro se ha pensado en el funcionamiento de las rotulas, que nos permitan realizar el giro del mismo punto en dos ejes perpendiculares.

Las primeras ideas han sido realizar el mecanismo mediante apoyos y giros de la superficie, como el que se ve en la figura 36. Dicho diseño permite uno de los giros mediante unas poleas que mediante topes facilitan los 90° necesarios. El segundo giro se hace gracias a la base y un sistema de raíles que permite un giro de 90°.

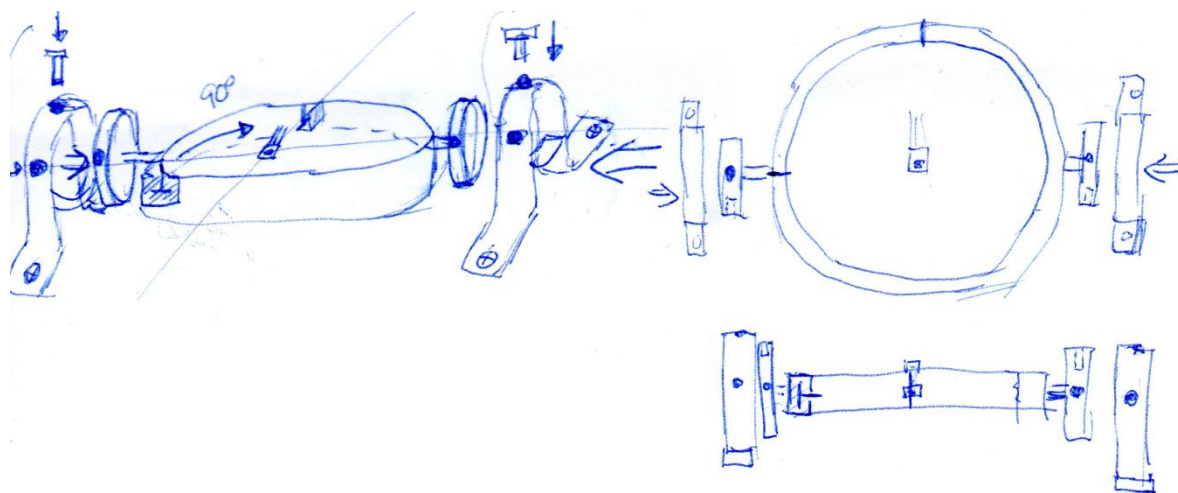


Figura 36. Boceto mediante mecanismo de giro con rotulas

PROBLEMAS:

- Mecanismo demasiado complejo.
- Montaje y fabricación muy compleja.
- Falta de precisión.
- El sensor debería ir montado de forma lateral, lo cual dificulta la precisión en la fijación del sensor.

Aunque la primera idea no es buena, se ha conseguido un avance importante a la hora de pensar en lo que se andaba buscando. La solución para estos problemas fueron los muelles, ya que gracias a su flexibilidad permiten realizar pequeños retrocesos y recuperaciones que, a su vez, nos permiten llevar el sensor siempre al mismo punto, mediante giros en el recorrido del muelle. Además, gracias a la fuerza de retroceso del propio muelle no son necesarios amarres, vale únicamente con topes mecánicos diseñados en el propio soporte.

De esta forma se ha pensado en un sistema como el que está dibujado en la figura 37. Que permite dos giros en dos ejes perpendiculares mediante un sistema de

muelles. La parte superior, con el muelle superior, va unida a la inferior, y por tanto gira también cuando se produce el giro inferior.

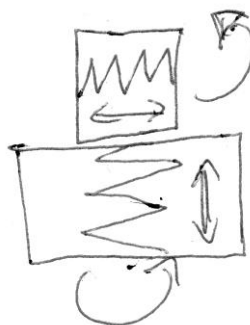


Figura 37. Boceto mediante mecanismo de giro con muelles

El primer diseño que se ha realizado con esta idea en Solid Edge, consta de una base cilíndrica con movimiento vertical del muelle. Sobre dicha base va unido, mediante tornillos, un soporte cúbico que realiza un movimiento horizontal del muelle. El sensor se monta en el saliente del elemento móvil de la parte cúbica, (ver figura 38).

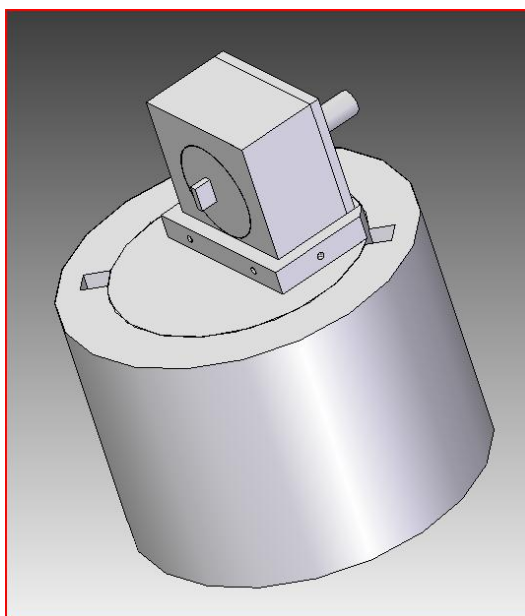


Figura 38. Diseño inicial en Solid Edge mediante mecanismo de giro con muelles

Los giros de 90° necesarios para la medición en los tres ejes se consiguen mediante guías, por las que discurren los elementos móviles afectados por los desplazamientos de los muelles. De esta forma con un movimiento lineal y después un giro circular hasta otra posición marcada por topes es posible conseguir las 3 posiciones deseadas. El sistema de guías se puede ver en las figuras 39 y 40.

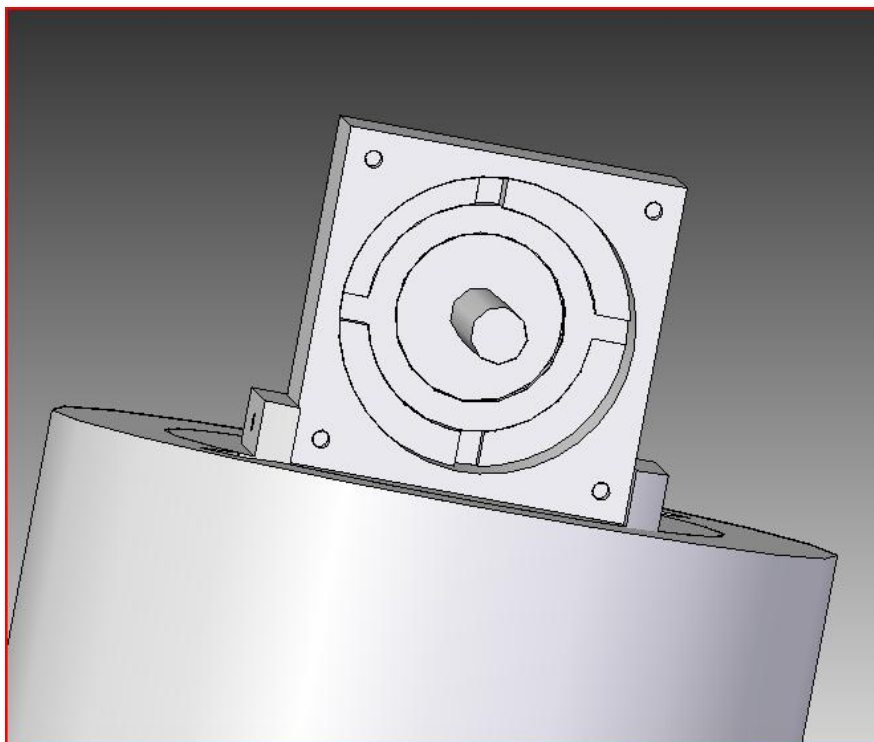


Figura 39. Diseño en Solid Edge. Mecanismo del giro superior

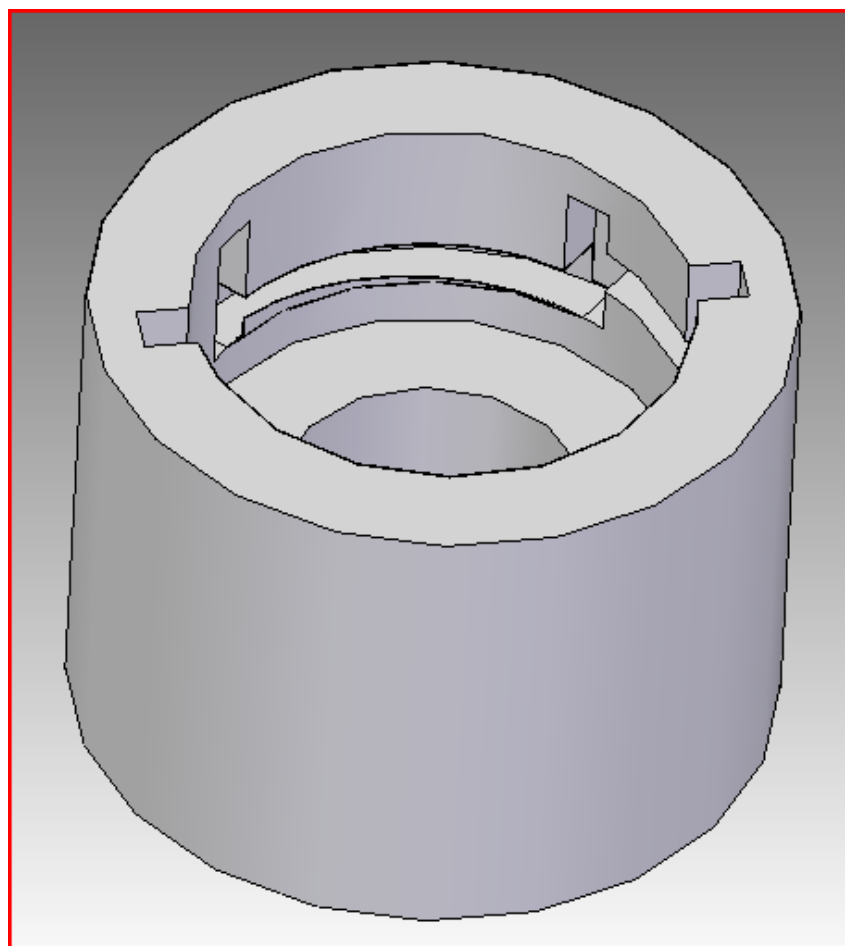


Figura 40. Diseño en Solid Edge. Mecanismo de giro inferior

PROBLEMAS:

- Dificil fabricación de guías internas.
- Demasiado grande, no es necesaria una base con tanta dimensión.
- La unión entre el cubo y la base cilíndrica es demasiado compleja.

Diseño definitivo del magnetómetro mediante giros y muelles

El problema de fabricación que ofrecen las guías del soporte inferior se ha solucionado haciéndolas pasantes. De esta forma se pueden mecanizar las guías fácilmente con el uso de una fresa con el diámetro adecuado. En el soporte superior no se ha encontrado una solución factible por lo que se ha dejado como estaba.

Las dimensiones generales del diseño se han reducido lo máximo posible. Y la unión entre el soporte cilíndrico y cúbico se ha modificado tal que fuese atornillado uno sobre otro mediante una pestaña saliente del soporte cúbico superior.

De esta forma las tres posiciones ortogonales en el magnetómetro para este diseño son las que se ven en las figuras 41,42 y 43.

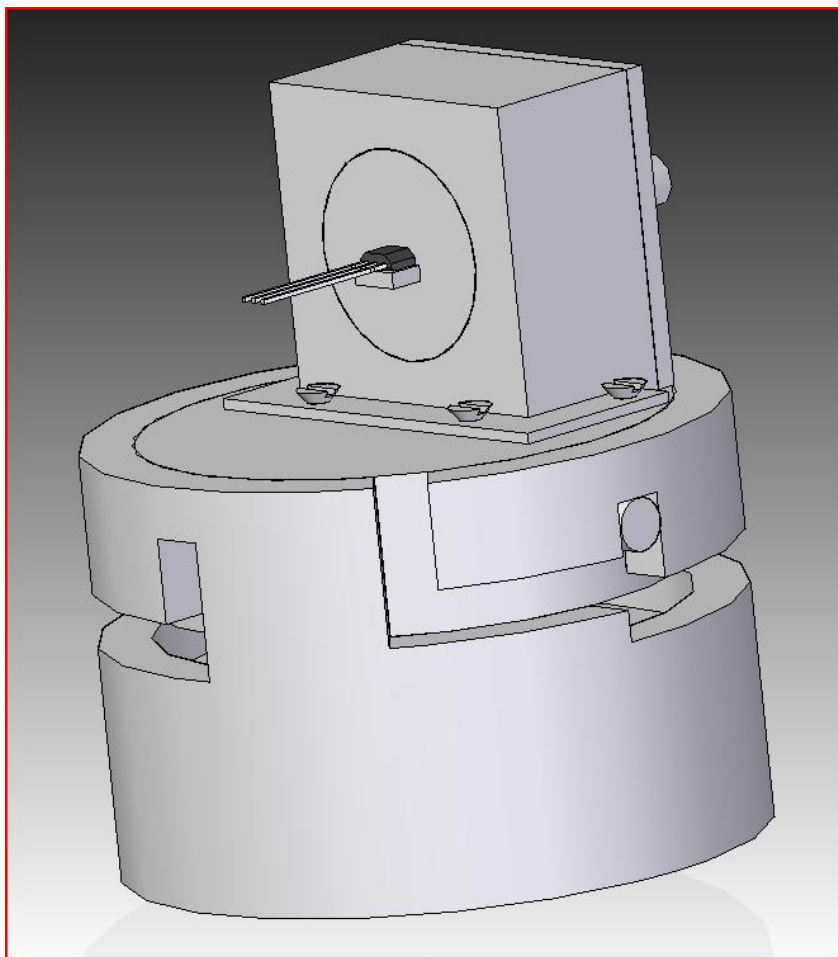


Figura 41. Diseño definitivo en Solid Edge de magnetómetro de muelles, posición 1

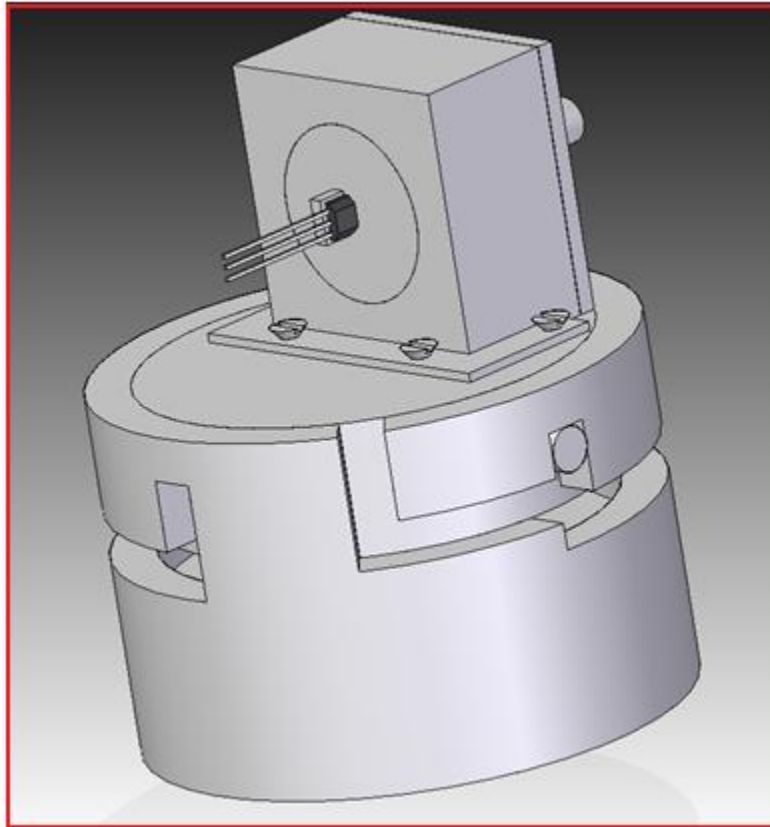


Figura 42. Diseño definitivo en Solid Edge de magnetómetro de muelles, posición 2

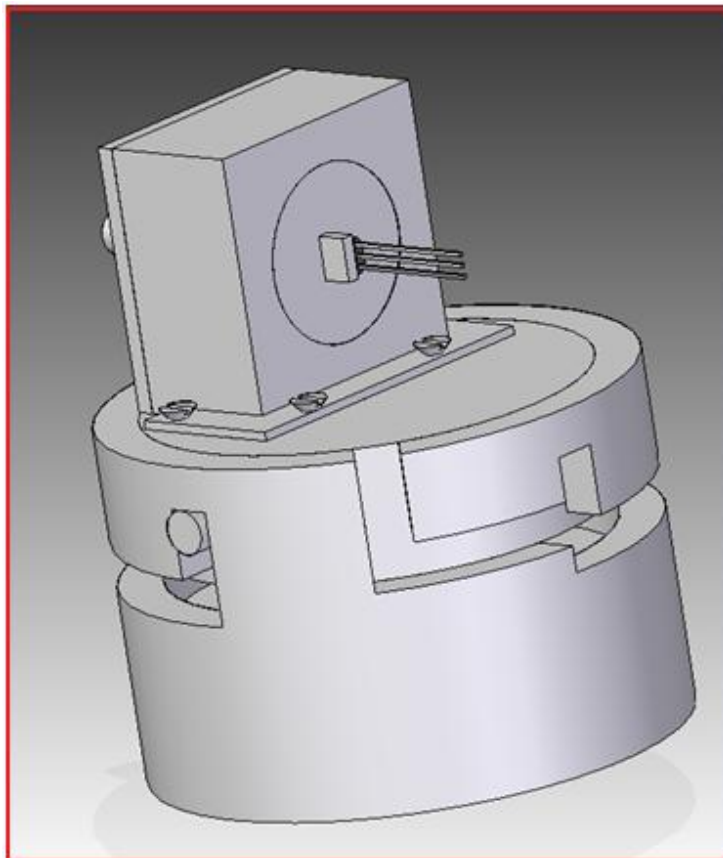


Figura 43. Diseño definitivo en Solid Edge de magnetómetro de muelles, posición 3

3.2 Diseño del magnetómetro mediante tres sensores de efecto Hall

Otra forma más simple de construir este tipo de magnetómetro consiste en realizar el diseño con el uso de tres sensores de efecto Hall, colocados cada uno en la dirección de los tres ejes ortogonales. De esta forma, el campo se mide de forma simultánea en las tres direcciones necesarias para calcular la resultante. Obviamente la precisión de dicho magnetómetro no es tan fiable como la de los diseños de un solo sensor, ya que cada sensor Hall mide el campo magnético en un punto diferente.

Tras pensar en las diferentes opciones en las que colocar los tres sensores sobre un soporte plano, se ha decidido que la que se muestra en la figura 44 es la opción que más aproximaba los tres puntos de medición en uno solo.

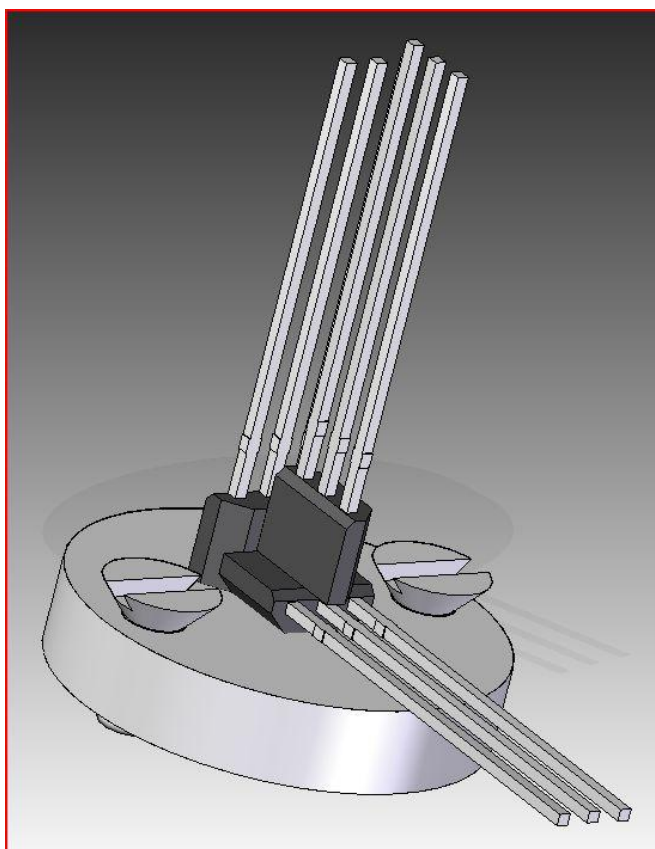


Figura 44. Diseño en solid Edge del magnetómetro con los tres sensores de efecto Hall

POSIBLES PROBLEMAS:

- Difícil precisión en el montaje para conseguir las perpendicularidades
- Posible defecto de medición al montar unos sensores pegados sobre otros.
- Dificultad de conexión de las patillas de todos los sensores al estar tan próximas unas de otras.

3.3 Diseño de un solo sensor Vs Diseño de tres sensores

A continuación se realiza una pequeña comparativa entre ambos tipos de magnetómetros, con sus ventajas e inconvenientes. Y a partir de ella se puede saber qué magnetómetro es más adecuado para según qué uso.

Magnetómetro de 1 sensor	
Ventajas	Inconvenientes
Muy preciso	Medición de ejes 1 a 1
Fácil montaje de cableado	Poco práctico , necesita realizar movimientos en cada posición

Tabla 2.- Ventajas e Inconvenientes del Magnetómetro de 1 sensor

Por tanto el magnetómetro de un solo sensor es muy útil para mediciones de precisión, o donde el espacio para el cableado sea pequeño. Además es perfecto para estudios en los que solo necesitemos medir el campo en una de las direcciones, o cuando el tiempo no es un factor determinante en el estudio a realizar.

Magnetómetro de 3 sensores	
Ventajas	Inconvenientes
Sencillo	Menos preciso, 'punto gordo'
Manejable	Difícil conexión de cables
Medición simultanea en 3 ejes	
Calculo automático de la resultante	

Tabla 3.- Ventajas e Inconvenientes del Magnetómetro de 3 sensores

Por su parte el magnetómetro de tres sensores, es igual de válido para estudios donde la precisión no sea tan importante. Y es perfecto si necesitamos mediciones de la resultante de forma automática, ya que con el de un solo sensor pueden existir cambios ambientales entre la medición de un eje y otro.

Capítulo 4. Fabricación y Montaje

En este capítulo se va a hablar sobre la construcción de las diferentes piezas que se han decidod construir para la fase final de este proyecto. Por tema de presupuesto, se han construido el magnetómetro de cubo seccionado y el magnetómetro de tres sensores de efecto Hall A1301EUA (ver figura45).

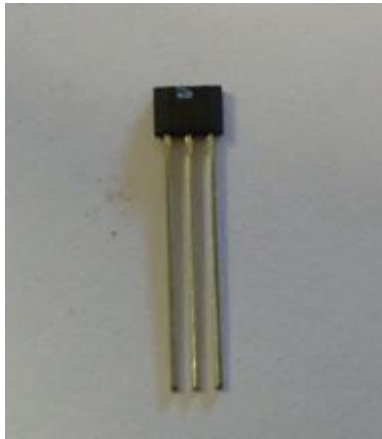


Figura 45. Sensor de efecto Hall A1301EUA

A continuación, se explican los detalles del proceso de fabricación y el posterior montaje de los sensores sobre las piezas.

4.1 Fabricación

El proceso de fabricación fue externo al proyecto, se hicieron los planos acotados (Anexo1 y 2) a través del programa Solid Edge y se enviaron al taller de la universidad para que se realizara el mecanizado de las piezas según tolerancia. En dichos planos se introdujeron tolerancias H7 en las cotas críticas, donde era necesario algún tipo de ajuste o de apriete.

El material de fabricación de los magnetómetros tiene que ser con materiales no magnéticos, para evitar cualquier interferencia en las mediciones que se realizan con el sensor. Por esa razón, se han utilizado materiales plásticos y similares.

4.1.1 Fabricación del magnetómetro de cubo seccionado

Se hizo una primera fabricación de las piezas de este diseño con Nylon, y el resultado no fue el mejor, ya que era un material demasiado blando y dejaba muchas rebabas. Además no nos ha permitido realizar el diseño con las tolerancias adecuadas para la precisión que necesitábamos. Por tanto se ha decidido realizar la fabricación mediante PVC, que era más duro y permite un mecanizado más limpio, aunque con algunos puntos que remarcaremos a continuación.

Al ser piezas de tamaño tan reducido existieron problemas para la sujeción de las piezas en el centro de mecanizado. Por lo que las piezas finales sufrieron algunas modificaciones sobre su diseño inicial. Aunque se ha conseguido que no afectaran para nada en el funcionamiento original del diseño.

Como consecuencia de esto el cubo ha sufrido una pequeña sección en una de sus caras para poder fijar la pieza en el centro de mecanizado y conseguir la precisión requerida en las cotas críticas.

Otro problema en el proceso de fabricación han sido las esquinas de 90°, tanto en la sección del cubo, como en el cajeado de la pieza soporte del diseño del cubo. Ya que la realización de radios de acuerdo pequeños no era posible con las herramientas a nuestra disposición, como solución se han realizado taladros en las esquinas que permitieran el perfecto encaje entre ambas piezas. (Ver figuras 46, 47 y 48).

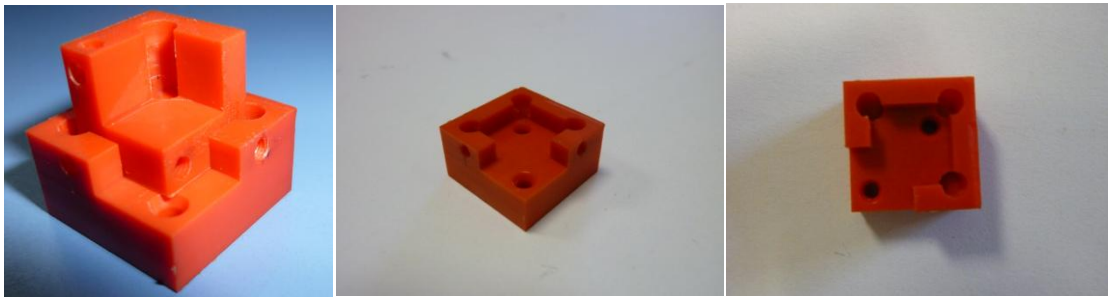


Figura 46, Figura 47 y Figura 48. Foto pieza cubo y soporte. Y fotos del soporte

Por último también se ha visto modificada la altura final de la base, que se vio aumentada ligeramente. Era la única forma de realizarla sin que se viera modificado el diseño, y como no se ha considerado que fuese una cota relevante se ha accedido a llevarlo adelante de esta manera.

4.1.2 Fabricación del magnetómetro de tres sensores

La fabricación de esta pieza sí se ha realizado con Nylon, ya que el mecanizado es mucho más simple, y la rebaba producto del mecanizado no afecta a la colocación de los sensores en el montaje.

Respecto al diseño, la pieza no se ha visto modificada debido a su simpleza. Aunque si se ha tenido que modificar la altura final de la pieza, por las mismas razones comentadas anteriormente sobre la sujeción durante el mecanizado de la misma. Dicho factor no se ha considerado relevante para el diseño, por lo que se ha decidido que es válido, (ver figura 49).



Figura 49. Foto del soporte circular, con dos de los sensores ya montados

4.2 Montaje

4.2.1 Montaje del magnetómetro de cubo seccionado

Al tratarse de un diseño de alta precisión, donde los sensores se deben colocar en el punto exacto para que el funcionamiento del soporte sea el más preciso, se han usado galgas micrométricas (ver figura 50) para tratar de ajustar los sensores el máximo posible a su posición ideal. Para pegar los sensores al soporte se ha decidido usar pegamento loctite, ya que es un pegamento no destructivo, es decir, en caso de mala colocación del sensor sobre el soporte, luego se puede quitar y limpiar la zona afectada sin necesidad de dañar dicho soporte.



Figura 50. Galgas de precisión micrométricas

Pero antes de comenzar con el montaje de los sensores sobre las piezas, se ha dispuesto que era mejor realizar las conexiones de los sensores antes de pegar estos a los soportes (ver figura 51). Ya que, las conexiones de los sensores con los cables se realizan mediante soldaduras, y tratándose de sensores de tamaño tan reducido se realiza la soldadura más fácil con cada sensor por separado y con total libertad de movimientos.

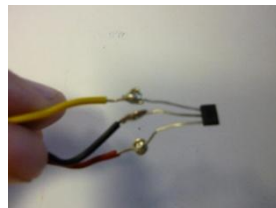


Figura 51. Foto del sensor con el cableado

Según las características del sensor (Anexo 8), dadas por el proveedor, se han conectado cables de diferente color para cada patilla. Así el rojo es V_{cc} , el negro es la tierra y el amarillo/blanco es la V_{out} (señal de salida). Una vez realizadas las soldaduras, mediante un voltímetro y un polímetro se ha comprobado que el funcionamiento de cada uno de los sensores es correcto. Para dicha comprobación se ha acercado y alejado un imán al sensor y se ha comprobado que la V_{out} variaba en la pantalla del polímetro de forma lógica.

A continuación se ha iniciado el proceso de montaje de los sensores sobre cada uno de los soportes. En el cubo el sensor se ha colocado con la precisión que se ve en la

figura 52, que según el plano de montaje se dejaban 60 micras desde cada una de las paredes interiores de la sección del cubo hasta el sensor.

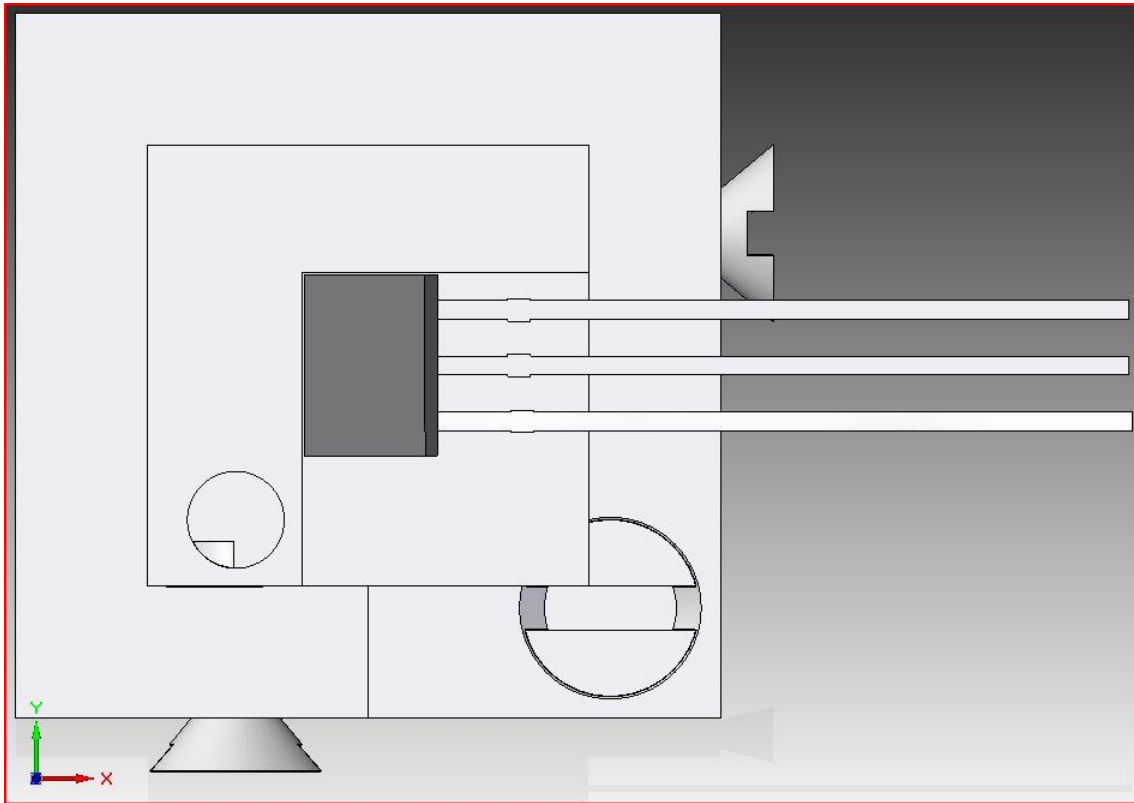


Figura 52. Montaje del sensor en el diseño, en el plano XY

Mediante el uso de las galgas que se comentaron anteriormente, se ha conseguido el siguiente resultado (ver figura 53 y 54), el cual dimos por correcto ante la imposibilidad de realizar un montaje más preciso con nuestras herramientas. Además para evitar que las patillas se toquen entre ellas y provoquen un cortocircuito, se ha fabricado una especie de tablilla que permitiese unas mediciones óptimas.

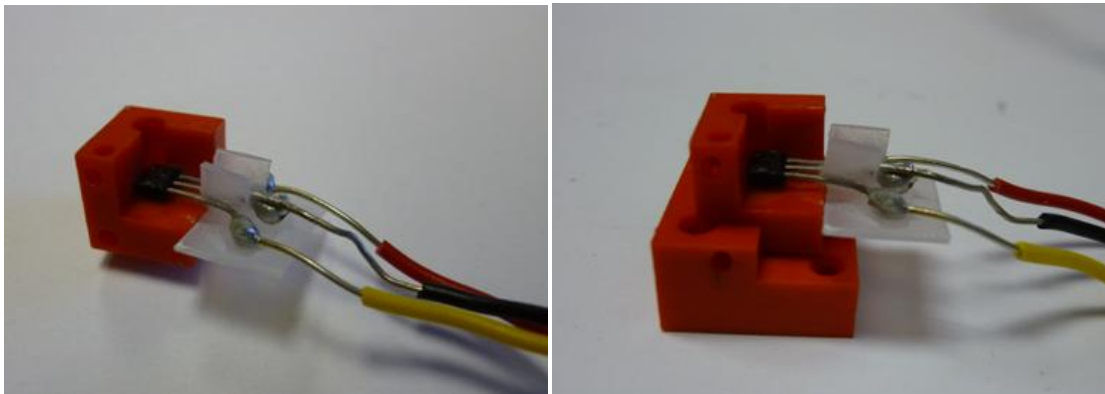


Figura 53 y Figura 54. Montaje final del sensor cableado y tableado en el soporte cubo

4.2.1 Montaje del magnetómetro de tres sensores de efecto Hall

Como en el anterior montaje, se ha decidido realizar el cableado de los sensores antes de pegarlos, mediante loctite, en la pieza soporte. Esto es aún más lógico teniendo en cuenta que en este soporte van los tres sensores montados prácticamente juntos.

El montaje en el soporte cilíndrico se antojaba bastante más complejo por varias razones.

- Difícil ajuste de medidas
- Conseguir la horizontalidad y verticalidad de cada uno de los sensores

Para el ajuste de medidas se han realizado marcas precisas mediante un cúter y un pie de rey para señalar el punto exacto donde montar cada uno de los sensores. Aunque realmente con realizar la marca de uno de ellos se considera suficiente, ya que los sensores se montan apoyados unos sobre otros.

Para el problema de la verticalidad y horizontalidad de cada uno de los sensores se ha confiado en la pericia a la hora del montaje y de conseguir buenos apoyos sobre los que hacer presión una vez pegados. Se han tenido que realizar varios intentos hasta que se ha conseguido la precisión deseada. El resultado fue el que podemos observar en las figuras 55 y 56.

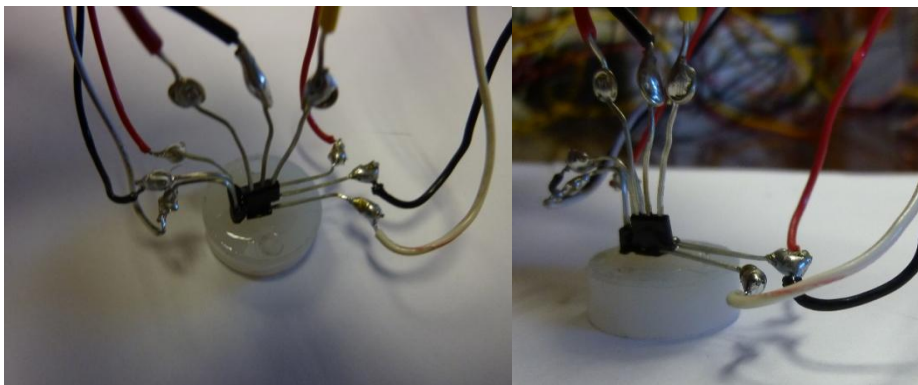


Figura 55 y Figura 56. Montaje del magnetómetro de tres sensores de efecto Hall

Una vez realizados ambos montajes se dejaron ambos magnetómetros bien protegidos hasta que fueran necesarios en la fase posterior de mediciones

Capítulo 5. Acondicionamiento Eléctrico

El acondicionamiento eléctrico consiste en la conexión de los sensores a la fuente de alimentación, y también a las conexiones de los datos de salida del sensor a nuestra pantalla del ordenador. A continuación, se explica cada una de las partes del cableado realizado.

Para la alimentación del sensor se usa una fuente de alimentación regulable, con la que se puede aumentar o disminuir el voltaje con el que mide el sensor. A dicha fuente de alimentación se conecta también el cable de tierra del sensor, como se ve en la figura 57. Para el buen uso de este sensor es necesario mantener un **valor constante de voltaje**, que en este caso es de **5V** (según especificaciones del sensor, Anexo 8).



Figura 57. Fuente de alimentación

Para la conexión de la salida del sensor ' V_{out} ' (cable amarillo/blanco) al ordenador se usa un dispositivo DAQ 6009 (adquiridor de datos, figura 58), que nos permite transmitir el valor de salida del sensor al ordenador mediante un puerto USB y mostrarlo en pantalla a través del Software Labview2010.



Figura 58. DAQ 6009 de National Instrument

Para cada uno de los magnetómetros se realizaron diferentes conexiones, tanto en la fuente de alimentación como en el DAQ. A continuación se explican por separado.

5.1 Acondicionamiento eléctrico para magnetómetro de cubo seccionado

En este caso tenemos solo un sensor, por lo que el cable rojo del sensor va conectado al '+' de la fuente de alimentación y el cable negro va conectado al '-' de la fuente de alimentación. De esta forma, se consigue llevarle la corriente deseada al sensor.

La conexión en el DAQ no es más compleja, según las especificaciones del programa, se conecta el cable amarillo del sensor al CH+ del V_o del DAQ, y a su vez un cable llevado desde Tierra (de la fuente de alimentación) al CH- del V_o del DAQ (ver figura 59). Con este cableado, y una vez enchufado el DAQ al ordenador, se consigue enviar la señal del sensor al ordenador.

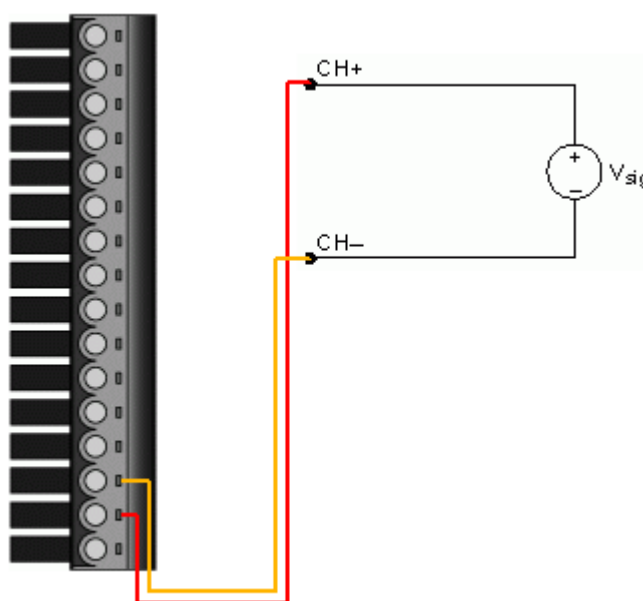


Figura 59. Conexión del sensor al V_o del DAQ 6009

5.2 Acondicionamiento eléctrico para magnetómetro de tres sensores

En este caso, se tienen tres sensores de efecto Hall, y cada uno de ellos tiene sus tres respectivos cables unidos a sus patillas. Por lo tanto, la conexión eléctrica se realiza conectando los tres cables rojos al '+' de la fuente de alimentación, y los tres cables negros al '-' de la fuente de alimentación. De esta forma, se consigue alimentar los tres sensores a un mismo voltaje, que es fijado gracias a la fuente de alimentación.

La conexión en el DAQ es más compleja que en el caso de un solo sensor, ya que esta vez se tienen que conectar los tres sensores al adquiridor de datos. Según las

especificaciones del programa (ver figura 69), debemos conectar cada cable amarillo de los sensores Hall al CH+ del canal V_0 , V_1 y V_2 respectivamente. A su vez hay que conectar un cable llevado desde Tierra de la fuente de alimentación al CH- del canal V_0 , V_1 y V_2 respectivamente.

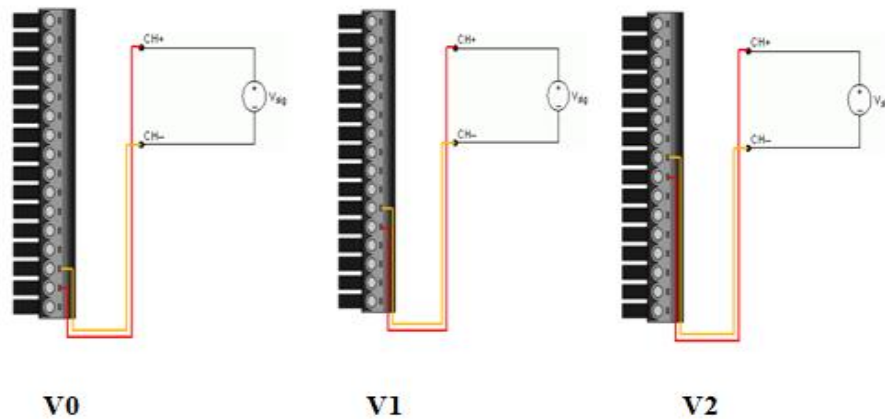


Figura 60. Conexiones de los tres sensores al DAQ.

Con este cableado, y una vez conectado el DAQ al ordenador mediante el cable USB, se consigue enviar la señal de los tres sensores al ordenador. Eso sí, es necesario conocer que sensor conectamos a cada Input del DAQ (V_0 / V_1 / V_2), ya que luego es necesario saber que V_{out} del programa en Labview corresponde a cada sensor y a cada dirección.

Capítulo 6. Adquisición de Datos

La adquisición de datos se realiza mediante el software de control Labview2010. Se trata de un software de programación mediante bloques, muy útil para programación de paneles de control de elementos electrónicos. De esta forma se pueden controlar desde el ordenador cuando iniciar la medición, el instante exacto en el que se toma la medida y otro tipo de elementos que permiten tanto la creación de tablas de datos de resultados, como el reseteo de las mediciones, etc.

También se han creado diferentes programas en Labview2010 con diferentes opciones de recogida de datos, según las necesidades para cada tipo de magnetómetro. Por tanto, se realiza una explicación de las diferentes opciones, por separado, para una mejor comprensión.

6.1 Adquisición de datos para magnetómetro de cubo seccionado

En Labview 2010 existen gran variedad de opciones a la hora de generación de matrices de datos, por eso cuando se ha afrontado el tema de la recogida de datos surgió la duda sobre cómo realizarla para este caso. Llegamos a dos opciones:

- Midiendo punto por punto.
- Midiendo eje por eje.

Como ambas formas de medición eran adecuadas, y algunas son más óptimas para un tipo de estudios y otras para otros, se realizaron los dos tipos de programa.

6.1.1 Medición punto por punto

De esta forma se miden los tres ejes ortogonales en un punto, antes de pasar al siguiente punto de medición. Y para obtener una matriz con los datos ordenados, se tienen que ir introduciendo los datos uno a uno por filas. En cada fila se contienen los datos en las tres direcciones, es decir, hay tres columnas. Y para el siguiente punto se baja a la siguiente fila. De esta forma se ha desarrollado el programa en Labview2010 que se muestra a continuación.

En el panel de control (ver figura 60), desde donde el operador controla todo lo relacionado con la medición y toma de datos, se encuentran varios elementos útiles que se enumeran a continuación.

- El gráfico que muestra el valor del Vout del sensor en cada momento.
- Indicador del campo en Gauss = $400 \cdot V_{out}$. (Ver Anexo 8)

Por su parte en la figura 62 se observan los bloques referidos a la fase de medición. Donde están todos los bucles que hacen que los datos se ordenen correctamente en la Real Matrix 3. El valor que se introduce en el bucle ‘Medición’ desde la línea azul es el valor del campo en Teslas, por lo tanto los datos recuperados en el archivo son medidos en Teslas.

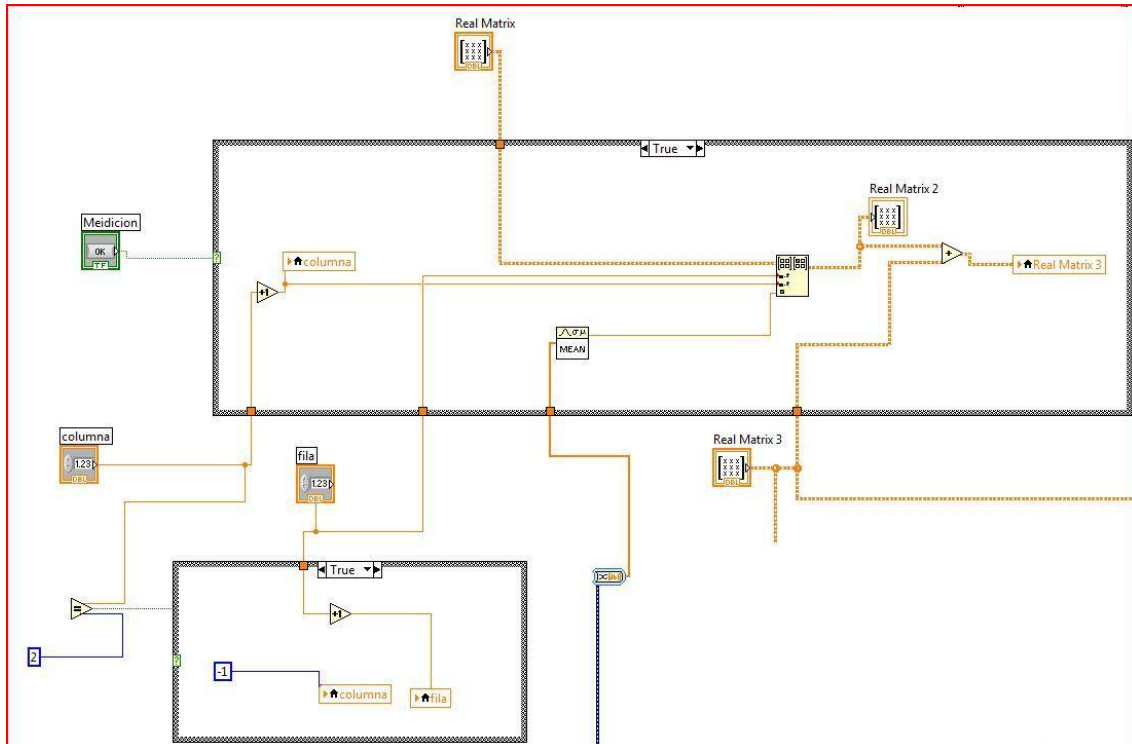


Figura 63. Programa en Labview, bucles de medición y organización de datos

Por último, tenemos el bloque de nueva medición, que restaura el programa a los parámetros iniciales y que se conecta mediante la línea naranja a Real Matrix 3 para poner todos los valores a cero. Y también tenemos el bloque de salvar datos, que archiva los datos en una tabla de Excel, y que está conectada también a Real Matrix 3. (Ver figuras 63 y 64).

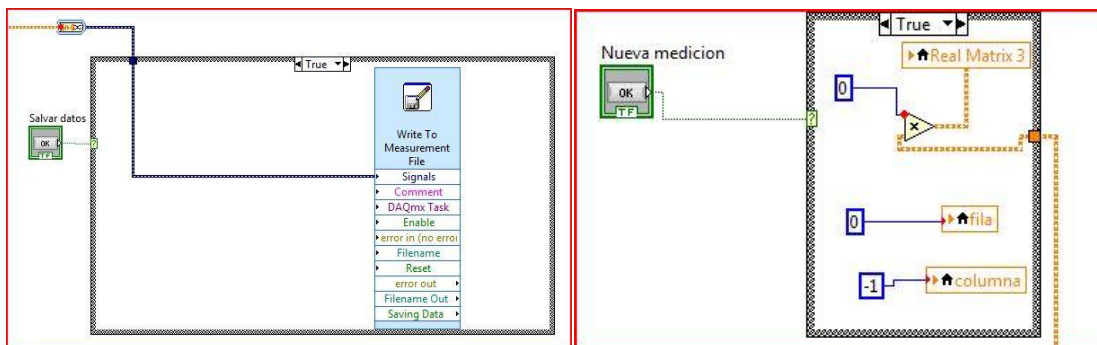


Figura 64 y Figura 65. Programa en Labview, recogida de datos (izq) y nueva medición (dcha)

6.1.2 Medición eje por eje

De esta forma se miden primero todos los puntos en la dirección 1, luego todos los puntos en la dirección 2 y, por último, en la dirección 3. Por tanto, si se quieren ordenar correctamente los datos obtenidos al final de la medición en la matriz, se tienen que introducir primero los datos en la primera columna, luego en la segunda y, por último, en la tercera. Es decir, se crea una matriz introduciendo los datos por columnas. También se pueden realizar las mediciones solo en una dirección si es lo que se necesita.

El panel de control creado en Labview2010 para esta modalidad no es muy diferente al de la anterior. Solamente se ha introducido un nuevo botón que permite el cambio a la siguiente columna/dirección cuando se haya finalizado la medición en uno de los ejes y se desee pasar a medir al siguiente. El panel es el que se muestra en la figura 65.

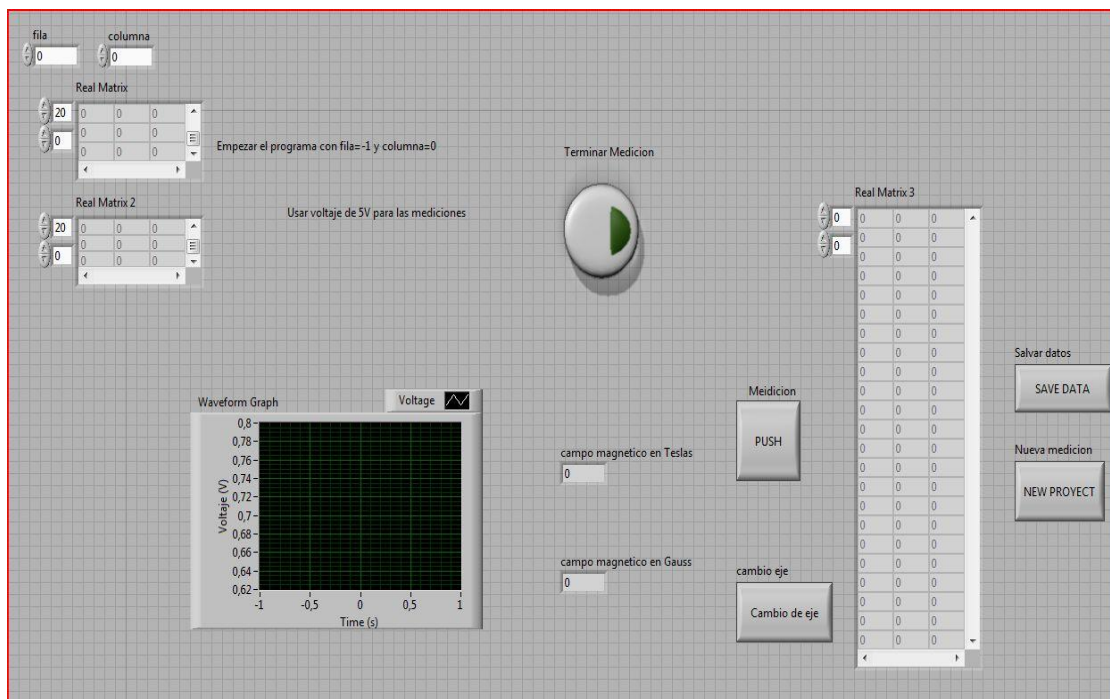


Figura 66. Panel de control para el programa en Labview para magnetómetro de cubo y medición eje a eje

Respecto al anterior sistema solo cambian algunos de los bucles, ya que la conexión del DAQ (figura 61) y la recogida de datos (figura 63) se realizan de la misma forma que en el anterior programa. Por lo tanto los bucles que se han modificado o incluido en este nuevo programa son los que se explican a continuación.

Primero se han realizado algunos cambios en el bucle de medición (ver figura 66), ya que en este caso se quieren ir introduciendo los datos primero en columnas y posteriormente en filas. La línea que se introduce en el bucle de 'Medición' sigue siendo la de la señal del DAQ, transformando el campo en Teslas.

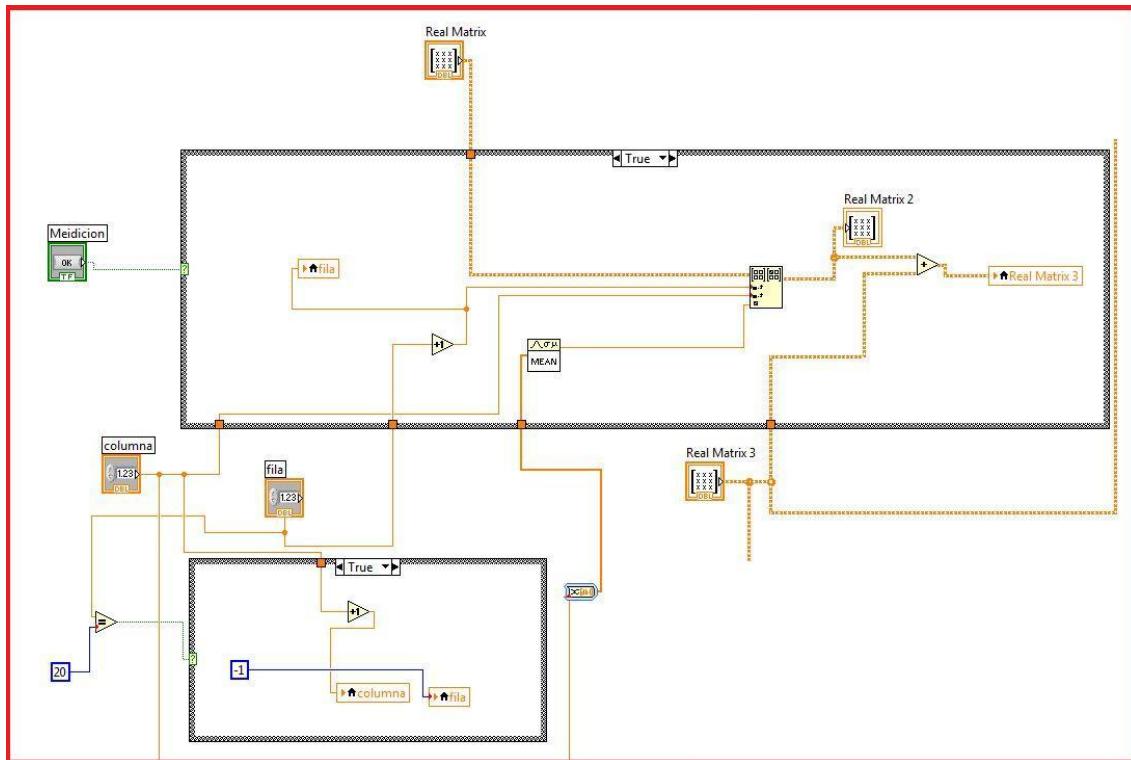


Figura 67. Programa en Labview, modificación en bucles de medición y organización de datos

También se han realizado algunas modificaciones para la opción Nueva medición (ver figura67), ya que las condiciones iniciales de ambos programas se ven modificadas dependiendo de cómo se ordenan los datos. Dicho bucle se sigue conectando directamente en Real Matrix 3.

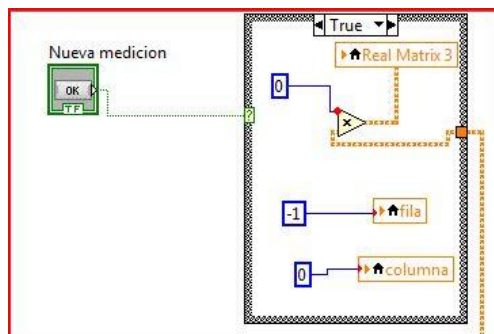


Figura 68. Programa Labview 10, bucle de nueva medición para medición eje por eje

Además, se ha incluido un nuevo bucle en el programa, activado mediante el botón 'Cambio de eje', que nos permite decidir cuándo se quiere cambiar la medición para un nuevo eje. Dicho bucle se conecta a la línea de la variable Columna, perteneciente al bucle de Medición.

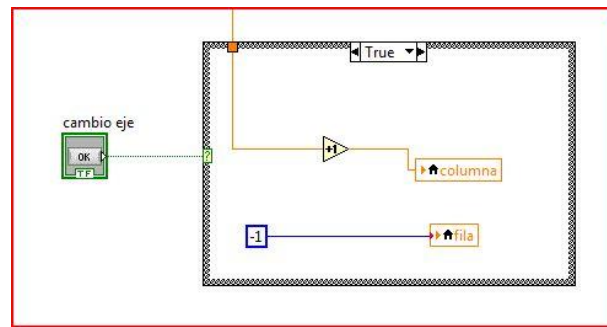


Figura 69. Programa Labview 10, bucle para activación de cambio de eje

Con estos dos programas se concluyen las opciones de Labview2010 para nuestro modelo del magnetómetro de un solo sensor de efecto Hall. Gracias a la flexibilidad del programa se ha conseguido poder realizar las mediciones de dos formas diferentes, lo cual nos da diferentes opciones a la hora de realizar posteriormente los experimentos.

6.2 Adquisición de datos para magnetómetro de tres sensores

El programa en Labview2010 se ha realizado de forma similar a los dos anteriores, aunque modificando los objetos necesarios. En esta ocasión en el panel de control (ver figura 70) se tienen los siguientes elementos.

- Tres gráficos que muestran el valor del voltaje de salida V_{out} de cada sensor.
- Tres indicadores del campo medido en Gauss para las 3 direcciones.
- Tres indicadores del campo medido en Teslas para las 3 direcciones.
- Botón de medición, que se pulsa cada vez que se quiere realizar una medición.
- Botón de 'New Project', que se pulsa para iniciar una nueva medición y restaurar el programa a los valores iniciales.
- Botón 'Save Data' para guardar la Real Matrix 3 en un archivo.

Además, encontraremos diversos indicadores para el operador. Y también la matriz de datos, Real Matrix 3, donde se recopilan los datos deseados, dejándolos visibles.

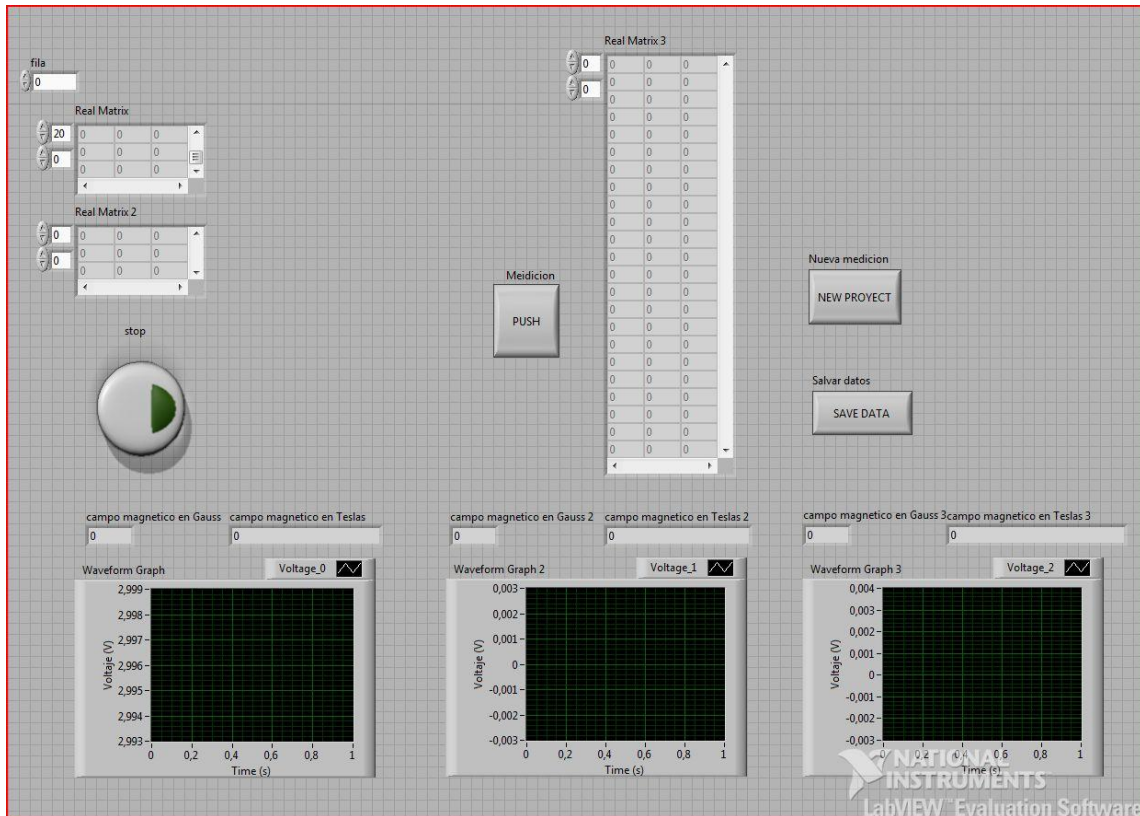


Figura 70. Panel de control para el magnetómetro de tres sensores de efecto Hall

A continuación se muestran los diferentes bucles en el diagrama de bloques que forman el programa. Empezaremos viendo, en la figura 71, el diagrama de las salidas de los gráficos que muestran el V_{out} de cada sensor y, a su vez, los dos indicadores en los que se muestra, mediante los cambios de unidades, tanto el campo magnético en Gauss como en Teslas.

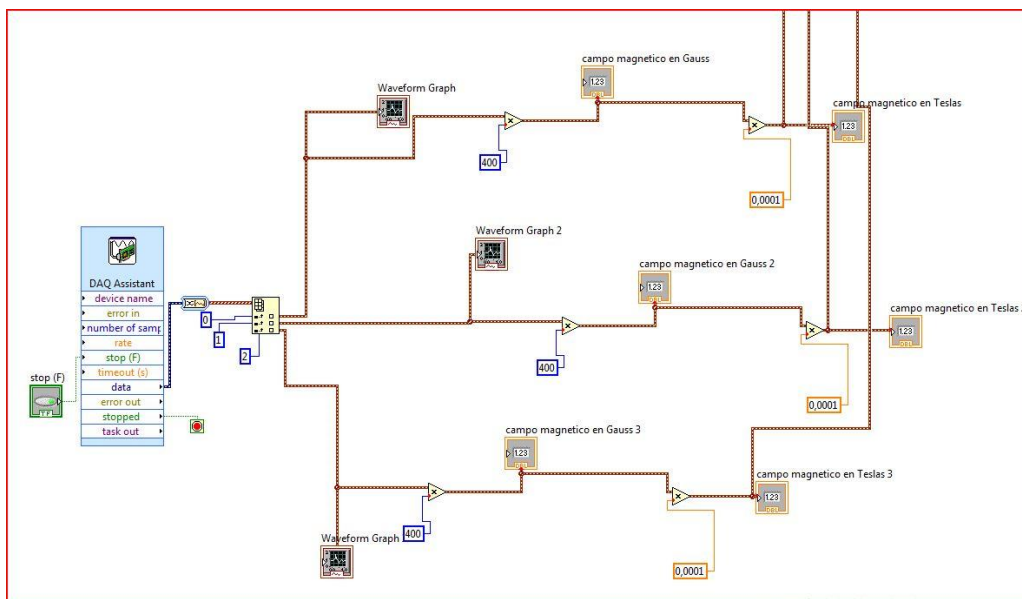


Figura 71. Labview 10, diagrama de bloques de la conexión del DAQ y salidas del valor del campo magnético

En el bucle de medición de datos, en esta ocasión se producen tres entradas provenientes de los tres campos magnéticos en Teslas. Esto se debe a que tenemos tres sensores. De esta forma se consiguen introducir los tres valores de forma simultánea en la matriz, como se ve a continuación en la figura 72.

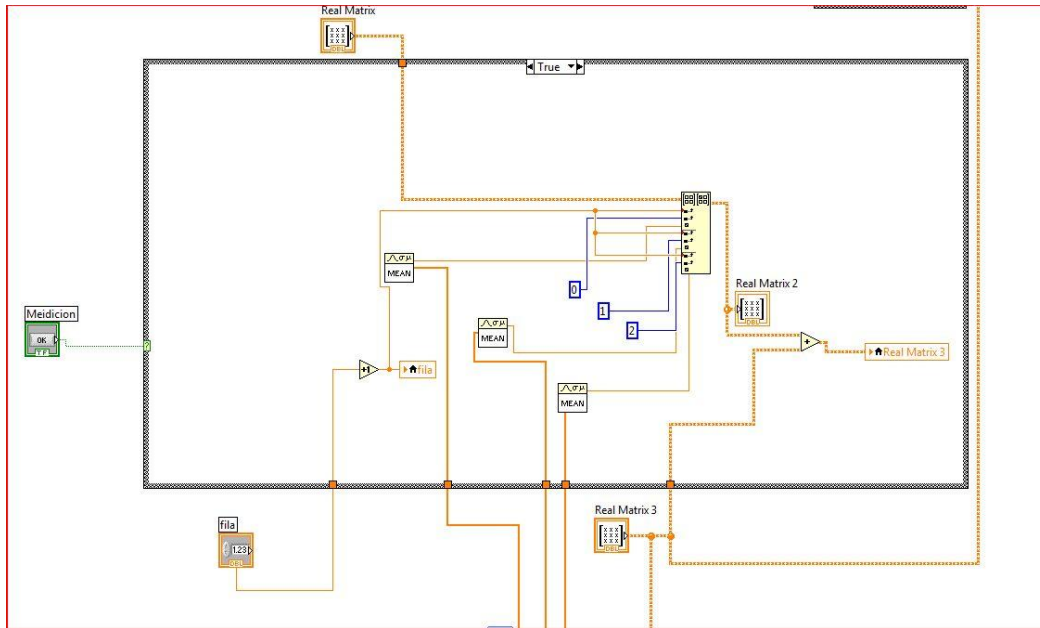


Figura 72. Labview 10, diagrama de bloques sobre el bucle de medición y organización de datos

Y, por último, se encuentran los dos bucles procedentes de los otros dos botones del panel de operador. El primero (figura 73) es el de nueva medición, que se conecta directamente a Real Matrix 3 y que, una vez realizado el bucle, transforma Real Matrix 3 en una matriz de ceros. El segundo es el botón para salvar los datos (figura 74), que al pulsarlo genera un archivo de Excel y también va conectado a Real Matrix 3, que es la matriz de resultados.

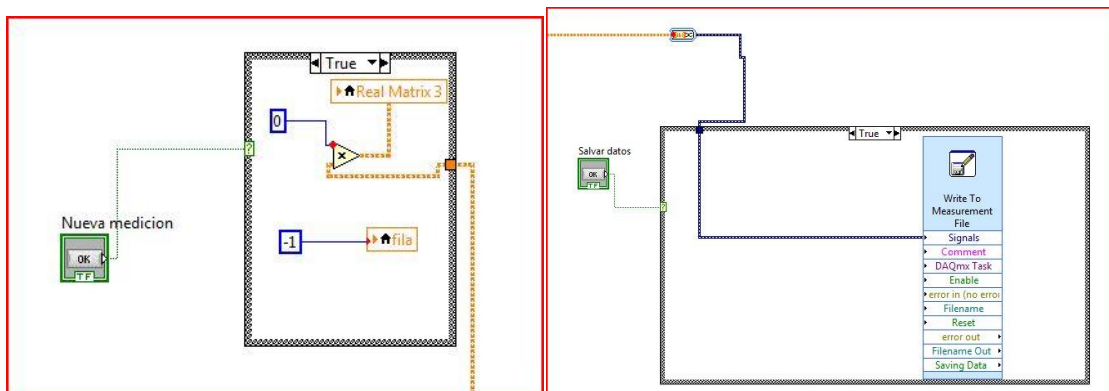


Figura 73 y Figura 74. Labview 10, Bucle de 'Nueva medición' (izq) y Bucle de 'Salvar Datos' (dcha)

Con la conclusión de este programa se finaliza el proceso de adquisición de datos. Con el magnetómetro construido y los programas realizados, ya solo queda hablar de la fase experimental del proyecto.

Capítulo 7. Apantallamiento Magnético

Como ya se ha visto en el estado del arte, uno de los puntos más interesantes en los estudios actuales sobre el campo electromagnético, son los estudios sobre el apantallamiento magnético. Dichos estudios se realizan mediante el uso de materiales con diferentes permeabilidades magnéticas, donde se trata de aislar el campo magnético lo máximo posible. Existen diferentes **tipos de estudios** en los que se mide el apantallamiento magnético mediante el cálculo de un factor, llamado Shielding Factor (Factor de apantallamiento), con diferentes tipos de configuraciones. Los diferentes estudios que se han realizado en este campo pueden ser:

- Según la distancia del medidor al núcleo del campo magnético.
- Según el campo magnético aplicado.
- Según los materiales usados para el apantallamiento magnético.
- Según las composiciones para realizar el apantallamiento magnético.
- Según las condiciones eléctricas del medidor (frecuencia, voltaje).

Para este proyecto se han realizado las mediciones con un imán situado a una distancia fija del magnetómetro. De esta forma, las variables que se introducen en el ensayo son las de apantallamiento magnético, es decir, mediante el uso de diferentes materiales. A su vez se han utilizado distintas configuraciones de apantallamiento con cada uno de los materiales, ya sea cambiando el espesor de las láminas de material, mediante aumento del número de capas o variando la posición de estas en el banco de ensayos.

De esta forma, se han usado láminas de 10 x 10 cm de tres materiales diferentes: mu-metal, EMI-metal y acero 304. En el caso del EMI metal usaremos dos espesores diferentes. Ver figuras 75, 76, 77 y 78.

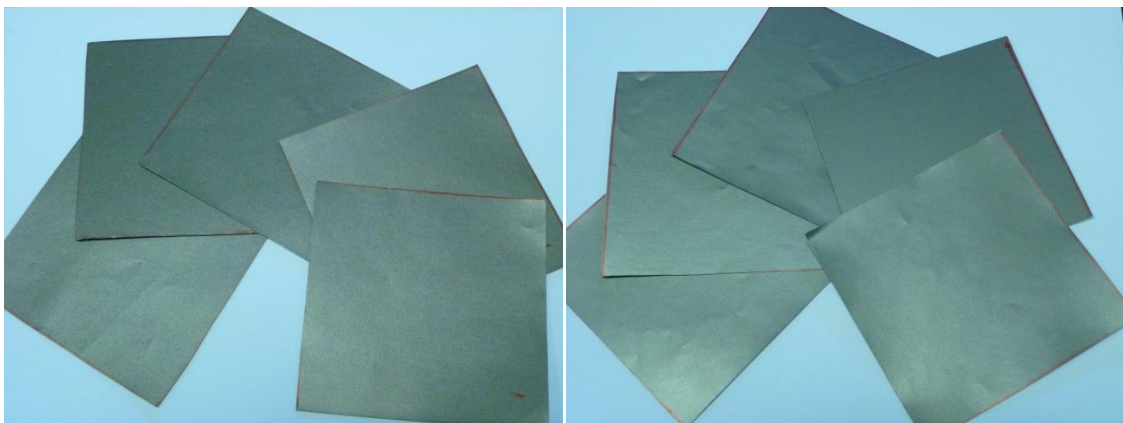


Figura 75 y Figura 76. Láminas de EMI-metal, 0,2mm espesor izq y 0,1mm espesor dcha

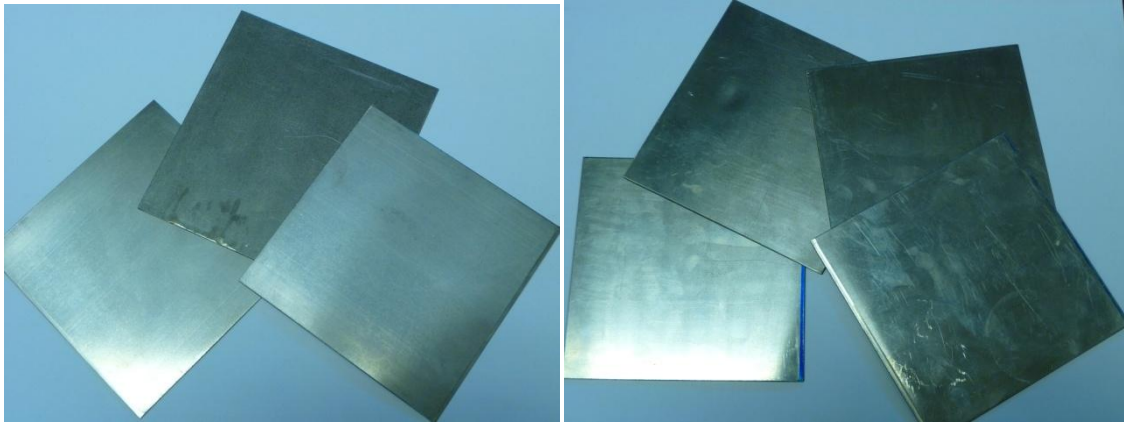


Figura 77 y Figura 78. Láminas de acero 304 izq y Mu-metal dcha

A continuación se muestra una tabla con las permeabilidades magnéticas de cada uno de los materiales que vamos a utilizar para el ensayo de apantallamiento magnético.

Material	Permeabilidad Magnética (μ_r)	Espesor láminas (e) mm
Acero 304	1,005	0,5
EMI-metal	38	0,1 y 0,2
Mu-Metal	60000	0,75

Tabla 4.- Permeabilidad magnética y espesor de las láminas

7.1- Banco de ensayos

Para realizar el ensayo según los requerimientos expuestos anteriormente, se ha fabricado un banco de ensayos. En él existe un habitáculo para el magnetómetro y otro para el imán. Siempre respetando que el sensor del magnetómetro esté a la misma altura que el centro del imán, y logrando de esta forma que el magnetómetro capte el campo magnético máximo del imán.

Para el ensayo se ha utilizado un imán con forma de aro (ver figura 79), donde el campo magnético máximo sale de la línea perpendicular al centro del aro. Por tanto, el magnetómetro debe estar alineado para captar el campo magnético en dicha línea. El imán usado en este ensayo será de diámetro 30mm y espesor de 10mm.



Figura 79. Imán en forma de aro

Además, para la colocación de las láminas de 10x10 cm se han realizado 5 ranuras de 5cm de profundidad, para que estén centradas con la línea de campo máximo y con 0,75mm de espesor (espesor máximo de todas las láminas). La separación entre ranuras es de 1cm, y la distancia final entre el imán y el magnetómetro es de 7cm.

En la figura 80 se puede ver el diseño final realizado en Solid Edge para el banco de ensayos.

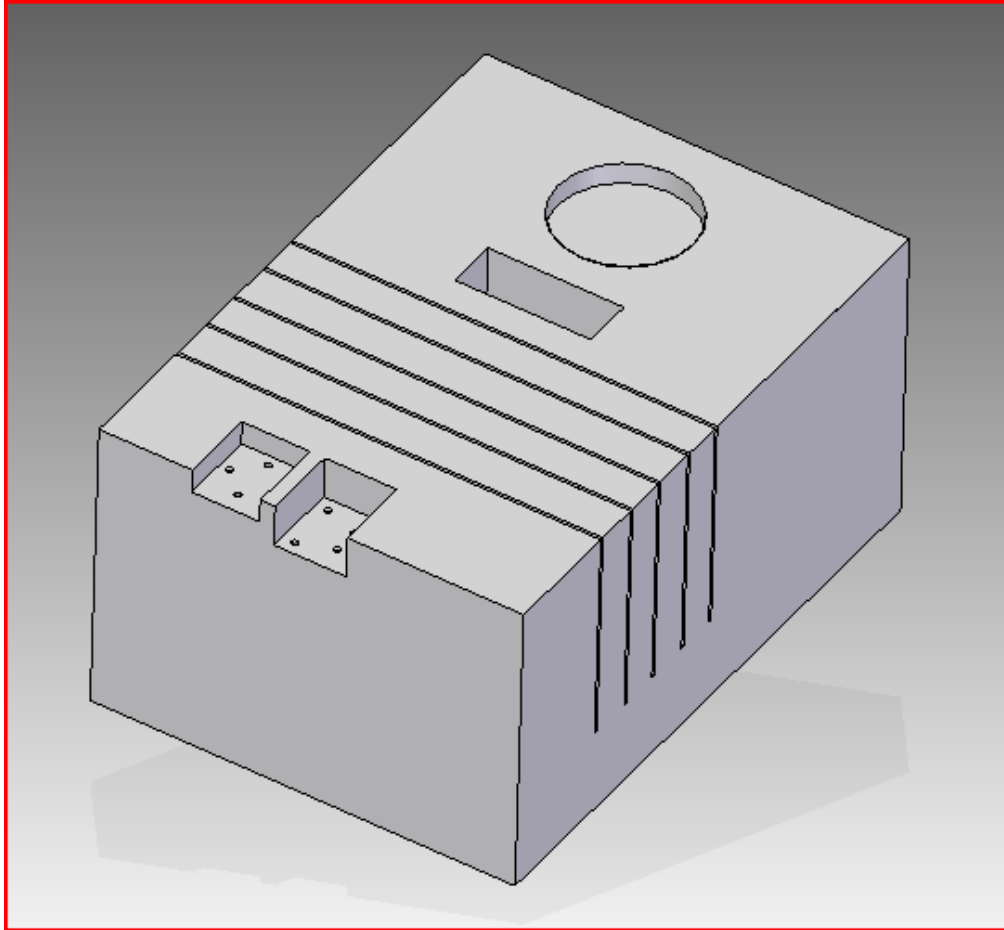


Figura 80. Diseño en Solid Edge del banco de ensayos

En el diseño final se implementaron dos elementos para futuros ensayos. Primero, se hizo un cajeado para poder fijar también el magnetómetro de tres sensores, así tendremos ambos magnetómetros a la misma altura, y da más flexibilidad de cara a ensayos futuros de campo magnético. Lo segundo es un pequeño cajeado circular para colocar el imán en posición horizontal, esto da la posibilidad de medir el campo en otra dirección, y también nos da la opción de poder aumentar el cajeado y usar algún otro imán más potente en el futuro.

Los espacios reservados para el montaje de los magnetómetros llevan taladros para diferentes posiciones, para que se coloquen de la forma más adecuada para el operador.

El bloque del soporte se ha fabricado a partir de un bloque grande de Nylon blanco, el cual es un material adecuado para posteriores reprocesos. El material se comporta bien durante el mecanizado y no deja grandes excesos de rebaba en piezas de este tamaño, y el acabado se considera lo suficientemente preciso para este ensayo. En las figuras 81 y 82 podemos ver la pieza fabricada.

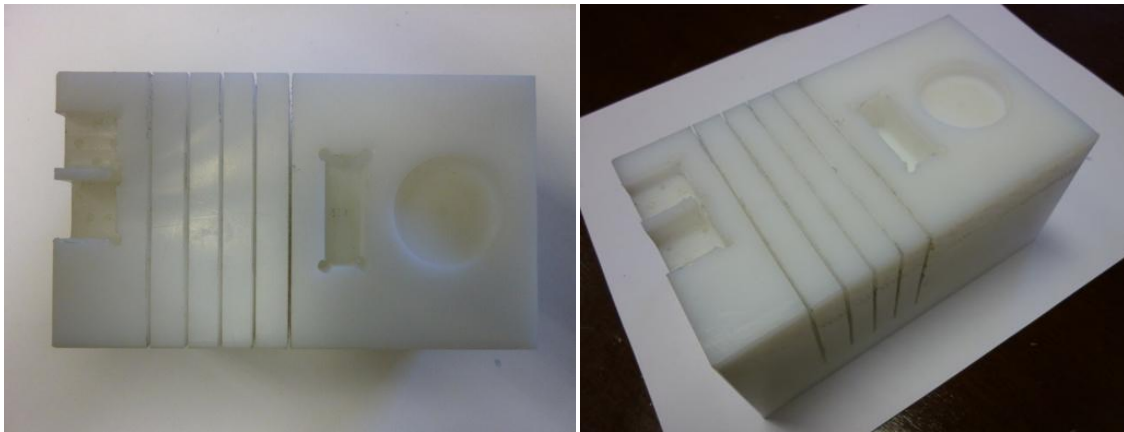


Figura 81 y Figura 82. Vistas de la pieza para el banco de ensayos

Como se puede observar existieron los mismos problemas con las esquinas de 90° en el mecanizado y se resolvió realizando algunos taladros para crear las esquinas de forma adecuada. Esto no afecta al diseño, así que se ha considerado válido.

Capítulo 8. Mediciones y Resultados

Las mediciones se han realizado en un laboratorio a temperatura ambiente. La fijación del banco de mediciones a la mesa se ha conseguido mediante el uso de tiras adhesivas. La sujeción del magnetómetro al banco de medición se hizo mediante tornillos de Nylon M-2.

Para la realización de las configuraciones durante la medición, se han numerado cada una de las ranuras de 1 a 5, comenzando por la que está más próxima al magnetómetro y finalizando por la más próxima al imán. Desde una vista de planta del soporte, la numeración es como se ve en la figura 83.

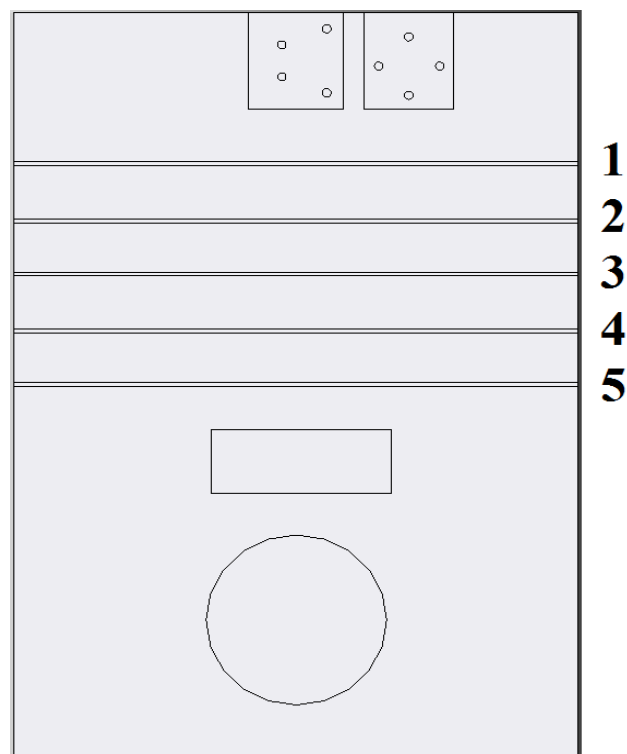


Figura 83. Numeración de las ranuras del banco de mediciones

El plan de mediciones para cada uno de los ensayos de los diferentes materiales se ha realizado siguiendo un plan de mediciones, que encontramos en la tabla de abajo. Primero se toma una medición sin imán para saber cuál es el campo magnético inicial del ambiente, luego otra medición con imán y sin apantallamiento para saber cuál es el campo magnético que queremos aislar (ver figura 84). Y por último se realizan las diferentes configuraciones de apantallamiento para después hacer los estudios pertinentes (ver figuras 85, 86, 87 y 88).

PLAN DE MEDICIONES
Sin imán
Con imán
1
3
5
4-5
3-5
1-5
1-2
1-3
1-3-5
3-4-5
1-2-3
1-2-3-4
1-2-3-4-5

Tabla 5.- Diferentes configuraciones para las mediciones de cada material

A continuación, se han realizado todas las mediciones seguidas, en unas condiciones prácticamente idénticas de factor ambiente. Primero se han tomado las mediciones de las láminas de acero 304. Posteriormente se han realizado las mediciones de las láminas de mu-metal y por último las mediciones con láminas de EMI-metal, primero las de 0,1mm de espesor y para acabar las de 0,2mm de espesor.

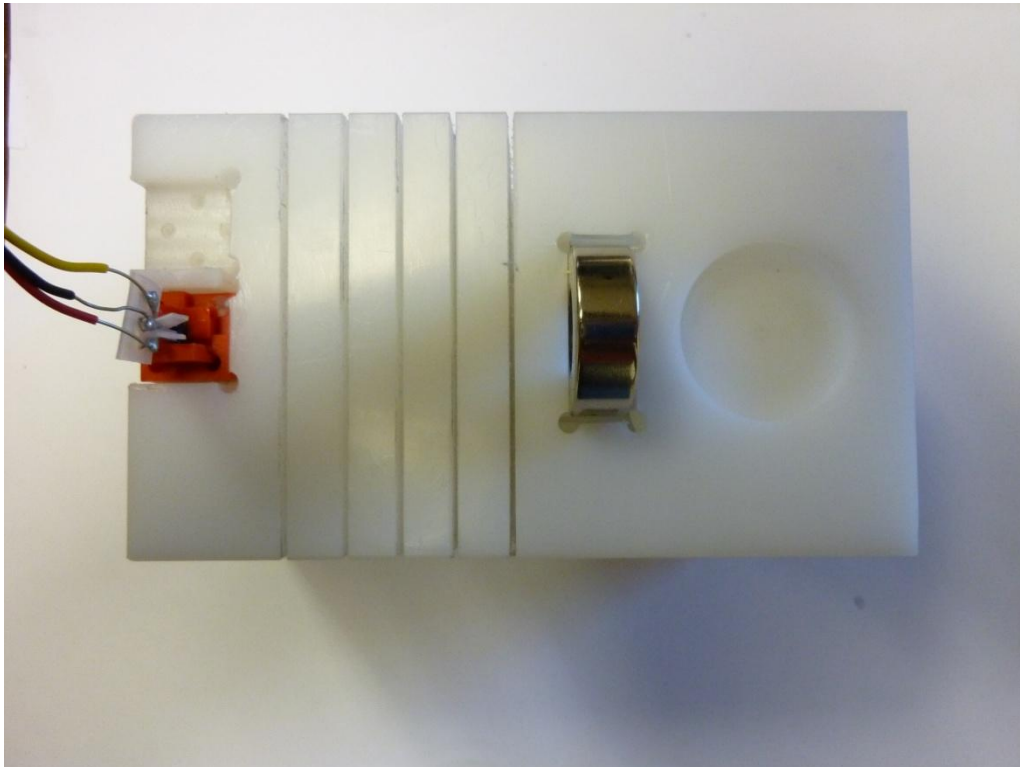


Figura 84. Medición del campo magnético sin apantallamiento

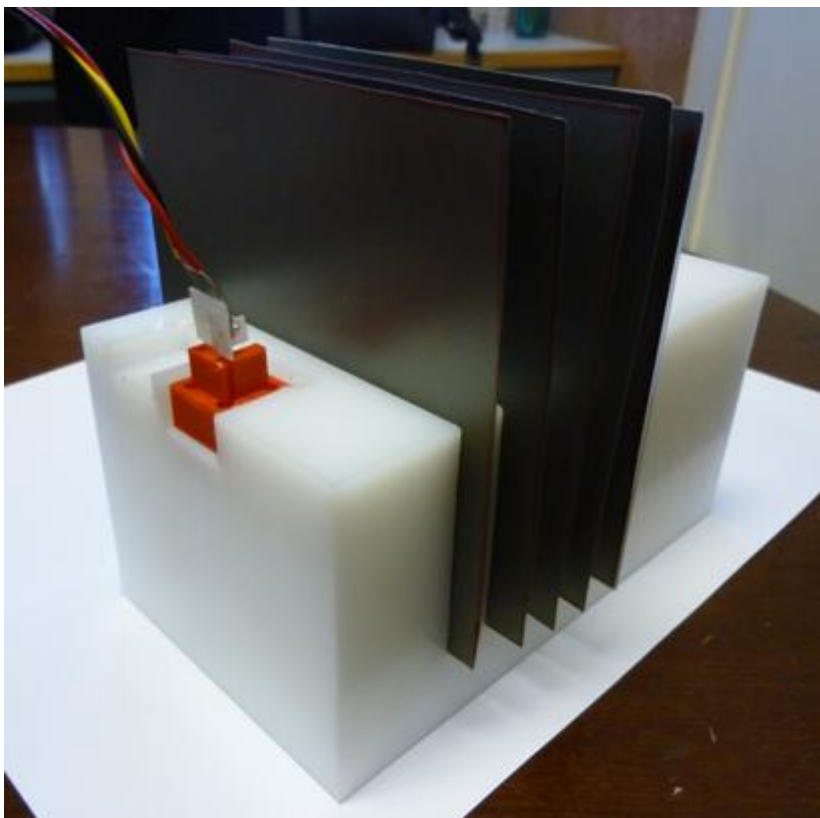


Figura 85. Medición del apantallamiento de las láminas de metal-caucho con 5 láminas

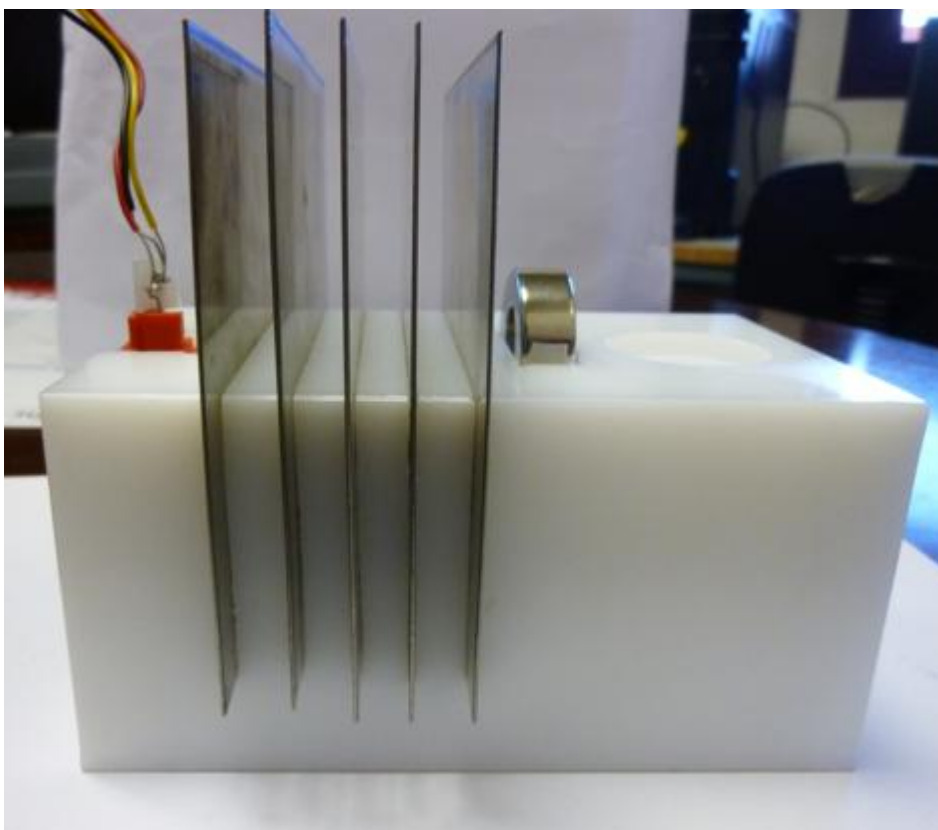


Figura 86. Medición del apantallamiento de las 5 láminas de mu-metal. Vista Perfil

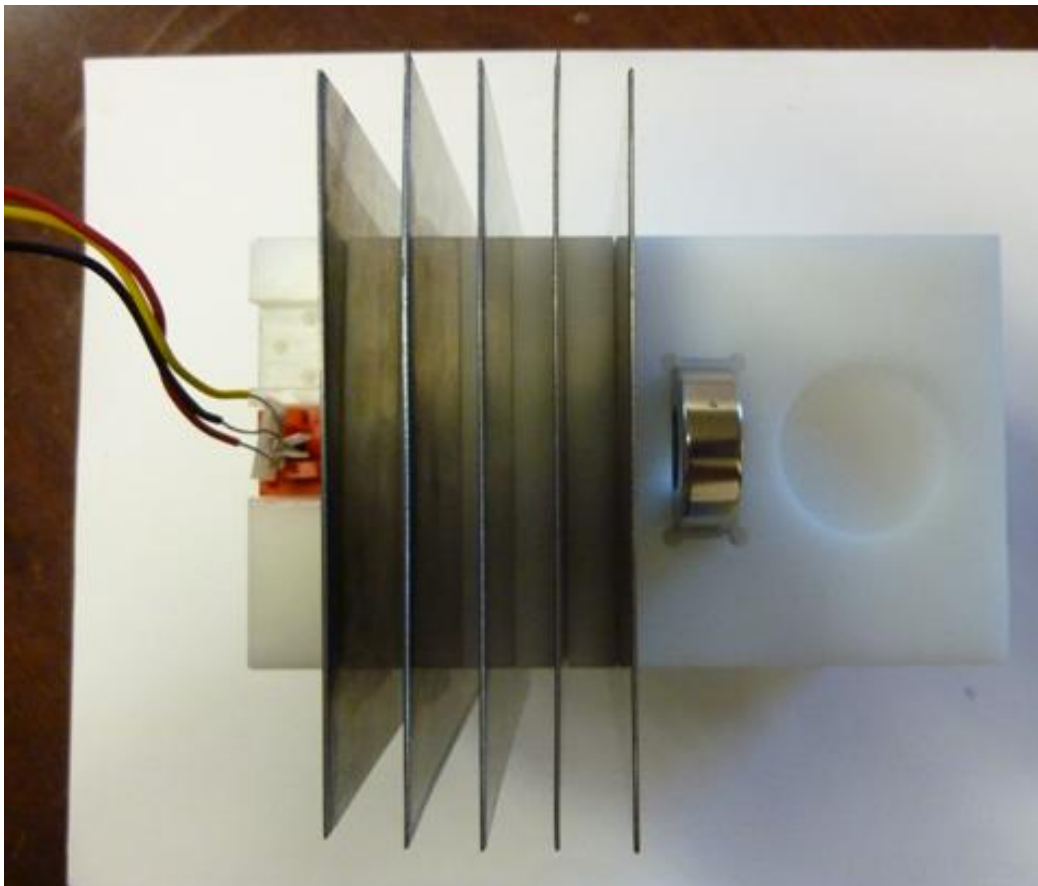


Figura 87. Medición del apantallamiento de las 5 láminas de mu-metal. Vista Planta

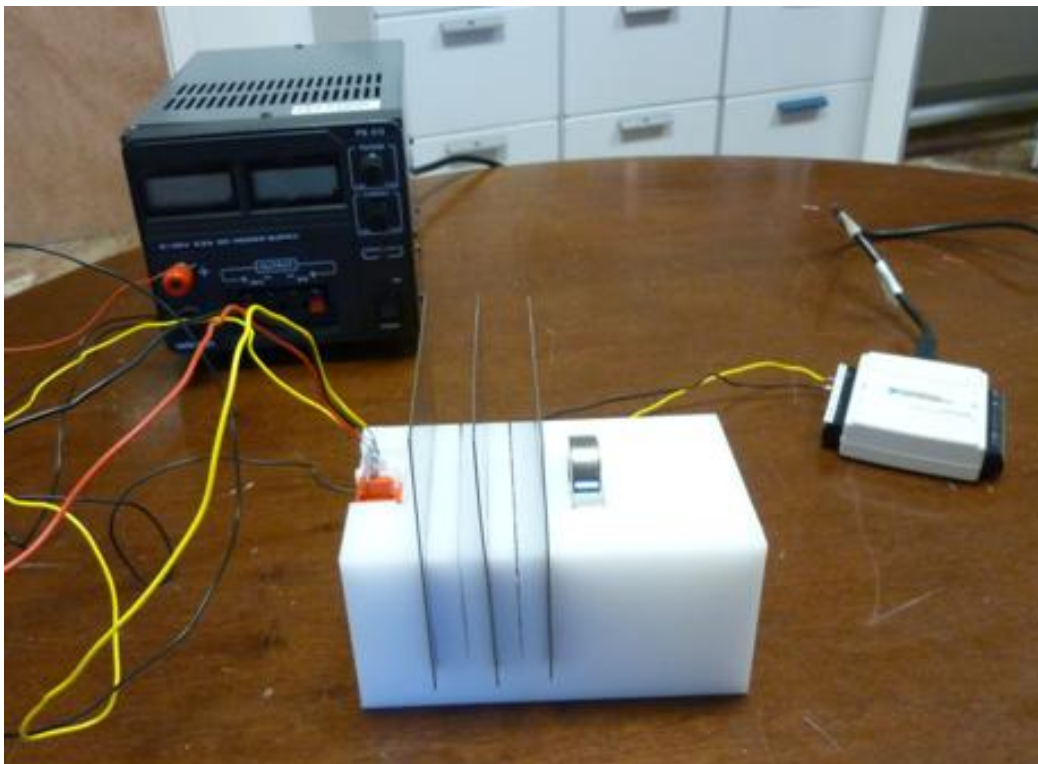


Figura 88. Conexiones de todos los dispositivos, fuente de alimentación, sensor y DAQ durante una de las mediciones

En la siguiente tabla se pueden observar todos los datos obtenidos a través de las mediciones realizadas y organizado a través del fichero de Excel obtenido mediante el programa de recopilación de datos 'eje por eje' en Labview2010.

Colocación Láminas	Acero	Mu-metal	Metal-caucho Finas	Metal-caucho Gordas
Sin iman	0,100671847	0,100565377	0,100682338	0,100630983
Con imán	0,103442399	0,103399154	0,103415949	0,103409791
1	0,103412929	0,101687802	0,103111943	0,103001701
3	0,103433035	0,101806493	0,103247634	0,103115353
5	0,10343176	0,102300701	0,103353499	0,103270079
4-5	0,1034254	0,101619092	0,10323262	0,103046846
3-5	0,103427234	0,101574659	0,103200809	0,102981495
1-5	0,103405297	0,101432046	0,103092908	0,102838068
1-2	0,103396439	0,101556183	0,102971367	0,102649598
1-3	0,103394408	0,101479533	0,103015138	0,102706398
1-3-5	0,103387686	0,101339058	0,102942864	0,102581905
3-4-5	0,103417919	0,101488033	0,103080896	0,102771597
1-2-3	0,103378934	0,101447773	0,102836541	0,102477821
1-2-3-4	0,103368296	0,101367051	0,102729455	0,102315868
1-2-3-4-5	0,103372062	0,101275335	0,102660795	0,102205982

Tabla 6.- Mediciones de campo magnético en teslas

En el gráfico de la figura 89 se pueden comenzar a observar las diferencias entre los diferentes materiales y disposiciones. El campo sin imán y con imán es prácticamente idéntico en todos los casos, pero luego se puede notar a simple vista como el mu-metal es mejor aislador magnético que el resto de materiales. También se observa la diferencia entre las láminas de diferentes espesores del EMI-metal, siendo más efectivo el apantallamiento de más espesor. Y por último, se observa que el acero apenas consigue aislar nada de campo magnético independientemente del apantallamiento que se ponga entre el magnetómetro y el imán.

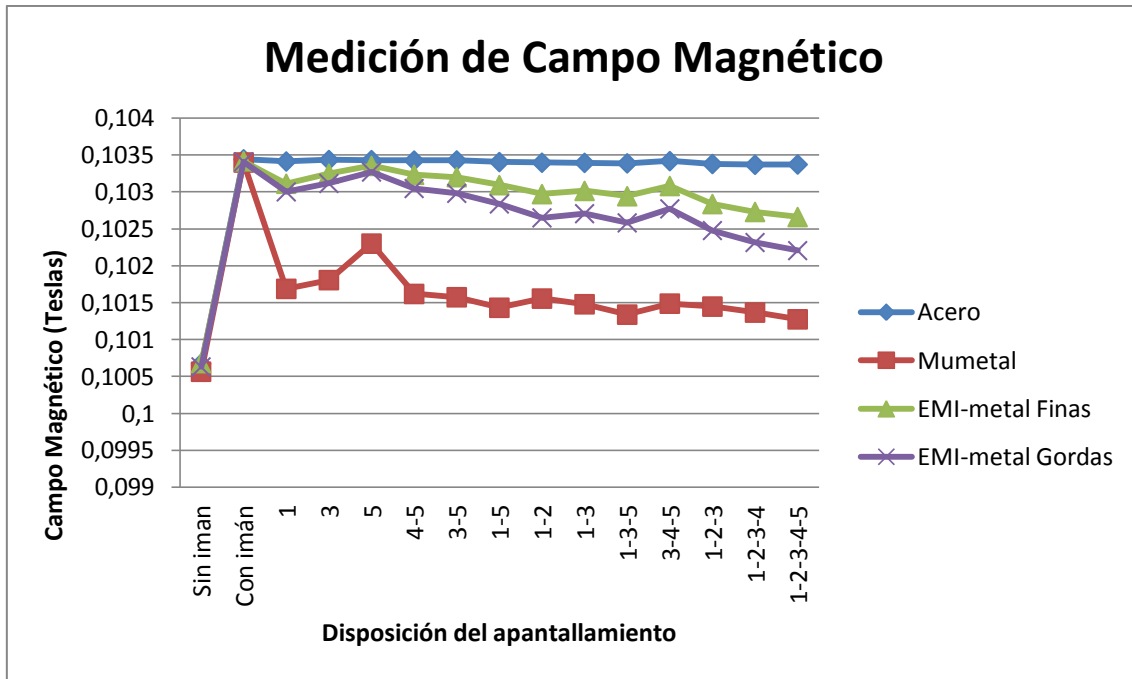


Figura 89. Gráfico de mediciones del campo magnético en Teslas en función del tipo de apantallamiento

Una forma de conseguir resultados numéricos sobre el apantallamiento magnético, es el Factor de apantallamiento o ‘Shielding Factor’, que en nuestro caso vendrá dado mediante la siguiente formula.

$$S = \frac{B_i - B_{amb}}{B_0 - B_{amb}}$$

B_i , campo medido en unas condiciones de apantallamiento y con imán.

B_0 , campo medido sin apantallamiento y con un imán que aporta el campo magnético

B_{amb} , campo medido sin imán y sin apantallamiento

Con esta fórmula se compara el campo magnético apantallado (numerador), con el campo magnético generado por el imán (divisor). Dicho factor tiene un valor que varía entre 0-1, es 1 cuando no existe apantallamiento, y es 0 cuando el apantallamiento magnético es total.

De esta forma se ha realizado la siguiente tabla aplicando la fórmula del Factor de apantallamiento.

Colocación Láminas	Acero	Mumetal	Metal-caucho Finas	Metal-caucho Gordas
1	0,989363019	0,396088074	0,888789729	0,853142098
3	0,996619989	0,437972509	0,938427609	0,894041784
5	0,996160082	0,612371252	0,977154837	0,949722502
4-5	0,993864224	0,371841081	0,932935045	0,869388413
3-5	0,994526533	0,356161358	0,921298258	0,845870635
1-5	0,986608581	0,305835377	0,881826276	0,794256074
1-2	0,983411375	0,349641611	0,837364439	0,72643183
1-3	0,982678023	0,322592743	0,853376658	0,746872515
1-3-5	0,980252115	0,273021113	0,826937877	0,702071515
3-4-5	0,991164159	0,325592186	0,877432225	0,770335344
1-2-3	0,977092886	0,311385244	0,78804308	0,664615242
1-2-3-4	0,973253202	0,282899518	0,748868999	0,606333648
1-2-3-4-5	0,974612785	0,250534272	0,723752157	0,566789348

Tabla 7.- Factor de apantallamiento

Y también se ha elaborado el siguiente gráfico, ver en la figura 90, para poder observar con más claridad los resultados del Factor de apantallamiento.

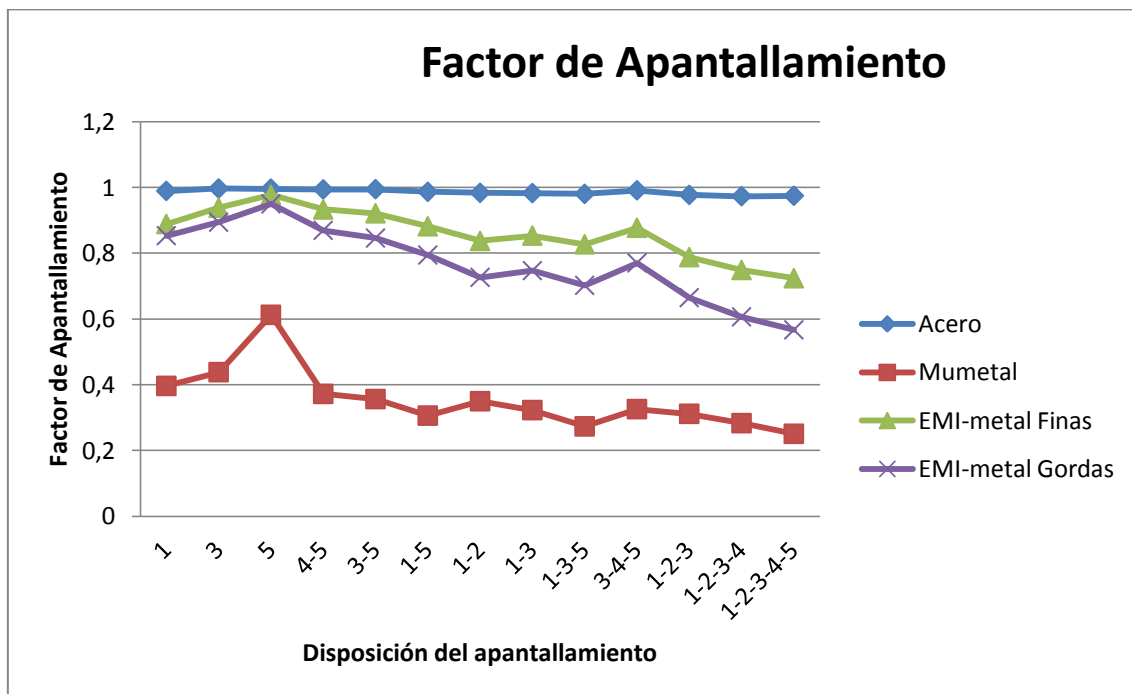


Figura 90. Gráfico del Factor de apantallamiento

Como ya se preveía en el gráfico anterior, se observa que el acero 304 tiene un Factor de apantallamiento rozando el 1, y por tanto se puede concluir que prácticamente no apantalla.

Por su parte el apantallamiento de EMI-metal no es tampoco muy efectivo, las láminas finas consiguen como mucho un Factor de apantallamiento de 0,72, mientras que las gordas consiguen un apantallamiento ya notorio de 0,56.

Para finalizar, nos fijamos en los resultados obtenidos con las láminas de mu-metal, donde se puede ver un apantallamiento magnético bueno, que consigue un Factor de apantallamiento de hasta 0,25. Esto demuestra que con materiales con una gran permeabilidad magnética, como el mu-metal, se pueden conseguir buenos resultados de apantallamiento magnético.

Respecto a las diferentes configuraciones de apantallamiento también se aprecian aspectos importantes. Se observa que se produce mejor apantallamiento cuando las láminas que apantallan **están más cerca del magnetómetro** y más alejadas del imán. Esto se puede apreciar por ejemplo entre las configuraciones 1, 3 y 5 respectivamente, también en 1-2, 1-3, 1-5, 3-5 y 4-5.

También se aprecia numéricamente que a mayor cantidad de láminas mejor es el apantallamiento. Excepto en el acero, donde prácticamente no se nota apantallamiento con ninguna de las combinaciones de láminas. Por su parte en las láminas de EMI-metal, se nota que las de más espesor son más efectivas, y también se aprecia en la gráfica que a mayor número láminas de mayor espesor más es la diferencia entre las finas y las gordas.

Por último hay que advertir que todos estos datos obtenidos tienen un margen de error que se ha estimado en torno a un 5% sobre los resultados obtenidos, procedente de las diferentes conexiones, y a su vez un pequeño error que se puede generar en el intervalo de tiempo en el que el DAQ y el programa de Labview2010 realizan la recogida de datos.

Capítulo 9. Presupuesto

En este capítulo se desarrolla un presupuesto aproximado del proyecto. No se tienen en cuenta los costes por mano de obra, ni los costes del mecanizado de las piezas, simplemente se cuentan los costes del material que se ha usado durante el proyecto.

Hemos separado el presupuesto en dos partes: el coste de construcción de los magnetómetros y adquisición de datos, y el coste del ensayo de apantallamiento magnético.

En esta primera tabla encontramos el presupuesto del magnetómetro.

PRESUPUESTO MAGNETÓMETROS	
10 Sensores de efecto Hall	15,00 €
Bolsa de 100 tornillos de Nylon	7,02 €
DAQ 6009	279,00 €
Bloque de Nylon	10,00 €
Bloque de PVC	10,00 €
PRECIO TOTAL	321,02 €

Tabla 8.- Presupuesto de los magnetómetros y adquisición de datos

Y en esta segunda tabla el presupuesto del ensayo.

PRESUPUESTO ENSAYO	
Lámina de mu-metal	50,00 €
2 Láminas de EMI-metal	100,00 €
Lámina de acero 304	27,15 €
Bloque de Nylon	10,00 €
PRECIO TOTAL	187,15 €

Tabla 9.- Presupuesto del ensayo de apantallamiento magnético

Hay que señalar, que parte de estos accesorios servirán para otros proyectos o usos dentro del departamento. Por lo que el presupuesto en este aspecto está justificado.

Capítulo 10. Conclusiones

Una vez finalizado todo el proceso de diseño, fabricación, programación y toma de resultados, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- Se ha conseguido un diseño preciso de un magnetómetro con el uso de un solo sensor de efecto Hall.
- Se ha avanzado en la innovación de un magnetómetro mediante un sistema mediante muelles.
- Se ha fabricado un sensor triaxial mediante tres sensores de efecto Hall, el cual es válido a la hora de trabajar.
- Se ha realizado una comparativa entre ambos tipos de magnetómetro, concluyendo que usos son más adecuados para cada caso.
- Se ha conseguido mediante Labview2010 la creación de tres programas, con un panel de control, acorde a lo que necesitábamos. Son de fácil uso y muy útil en la recopilación ordenada de datos.
- Se ha analizado el efecto de aislamiento de campo electromagnético para una serie de materiales. Concluyendo que el mu-metal es un buen aislante magnético, el Emi-metal necesita un gran espesor de lámina para conseguir un buen efecto aislante, y el acero 304 es un orden de magnitud inferior en cuanto aislamiento magnético se refiere.
- También se ha observado que las láminas funcionan mejor como aislantes, cuando están más cerca del magnetómetro (zona a aislar) que cuando están cerca del imán.
- Además, como era de esperar, se ha observado una mejora en el aislamiento cuantas más láminas de material se incluían en el apantallamiento. A su vez, en el EMI-metal, se ha visto como un aumento del espesor de la lámina afecta muy positivamente al aislamiento magnético.

Referencias

Bibliográficas

- [ref. 1] ‘Apantallamiento del campo electromagnético’, Luis Muñoz Matos.
- [ref. 2] Magnetometer, the history. <http://www.ctsystems.eu/support/history-mag.html>
- [ref. 3] Practical guidelines for building a magnetometer by hobbyists
- [ref. 4] ‘Fundamentos de la teoría electromagnética’. J.Reitz, F.Milford, R.Christy.
- [ref. 5] ‘Campos electromagneticos’ R.K.Wangsness.
- [ref. 6] Electromagnetic fields and waves. P.Lorrain, D.R.Corson, F.Lorrain.
- [ref. 7] Apuntes de Electromagnetismo, Ingeniería Industrial, Universidad Carlos III de Madrid.
- [ref. 8] <http://es.wikipedia.org>

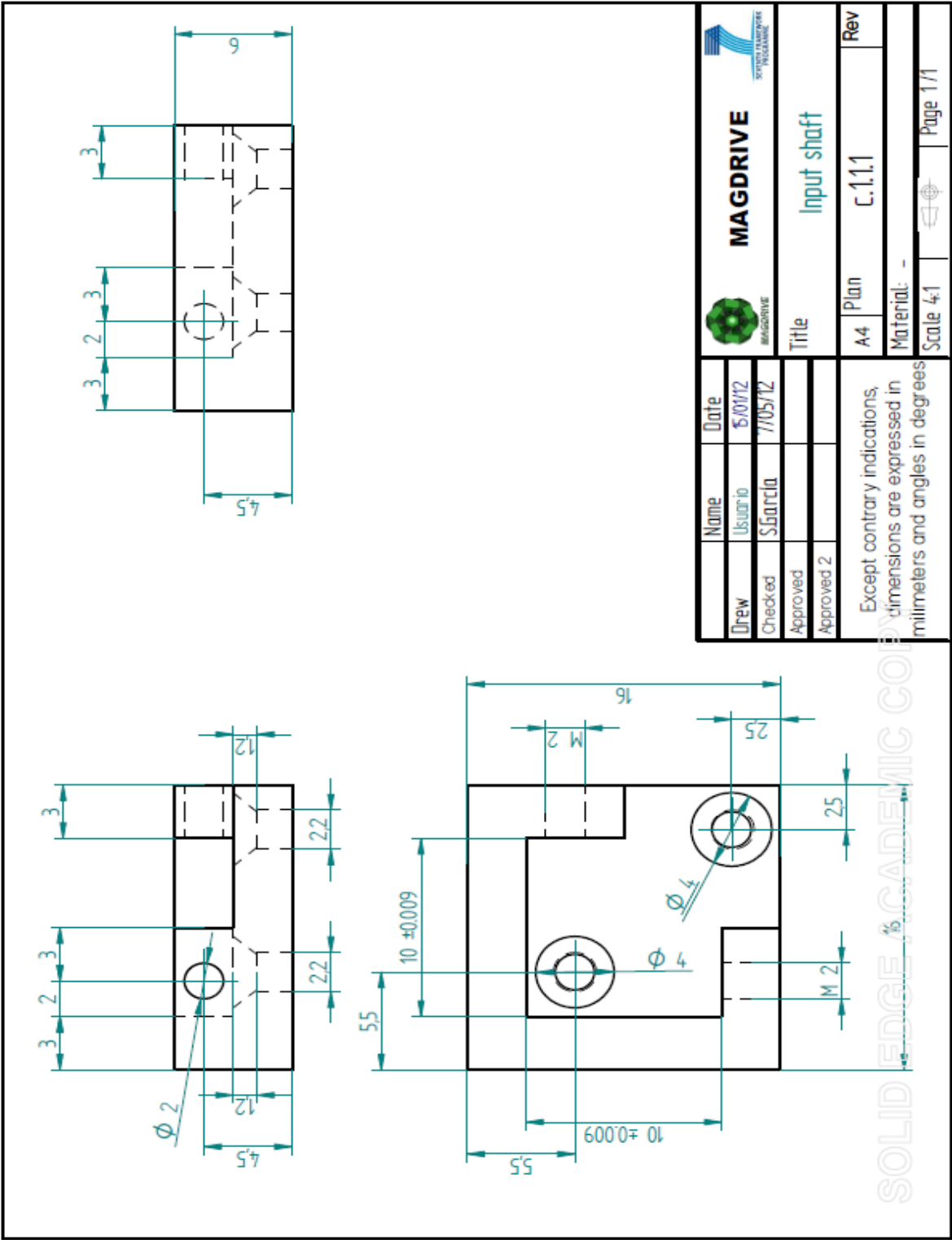
Artículos

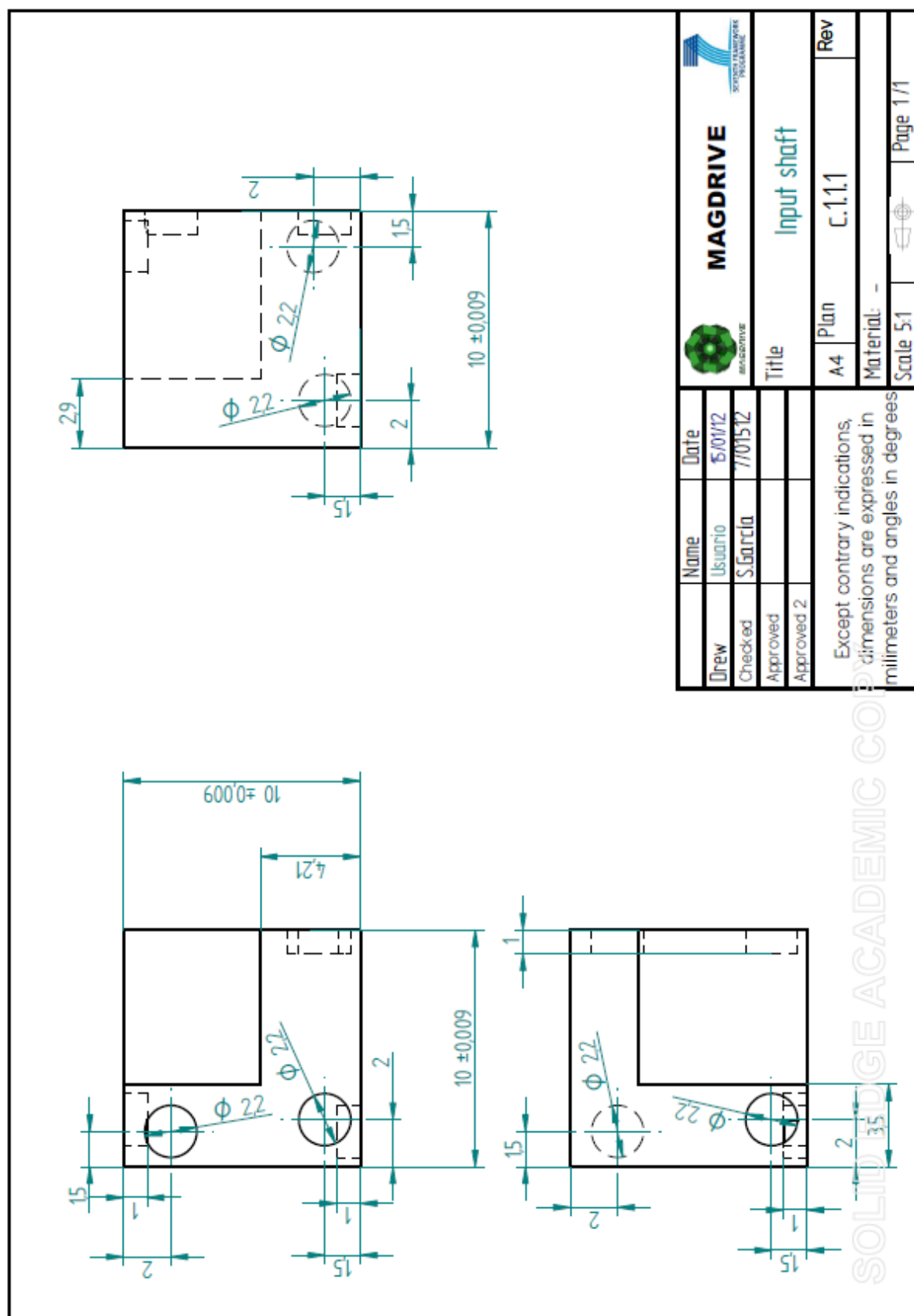
- [ref. 9] ‘A high-performance magnetic shield with large length-to-diameter rati’, S. Dickerson, J.Hogan, D. Johnson, T. Kovachy, A. Sugarbaker. 2012.
- [ref. 10] ‘Magnetic shielding efficiency of superconducting/ferromagnetic systems’, L. Gozzelino, A.Agostino, R.Gerbardo, G.Ghigo, F. Laviano. 2012.
- [ref. 11] ‘Magnetic Shielding performance of thin metal sheets near power cables’, S. Kim, J. Soh, K. Shin, J. Jeong, S. Myung. 2009.
- [ref. 12] ‘Numerical analysis of magnetic shielding efficiency of multilayered screens’, O. Bottauscio, M. Chiampi, A.Mazin. 2004.
- [ref. 13] ‘Incremental permeability of mu-metal in low magnetic fields for the desing of multilayer-type magnetically shielded rooms’, K. Yamazaki, K. Kato, K. Maramatsu, A. Haga, K.Kobayashi, K. Kamata, K. Fujiwara, T. Yamaguchi. 2005.

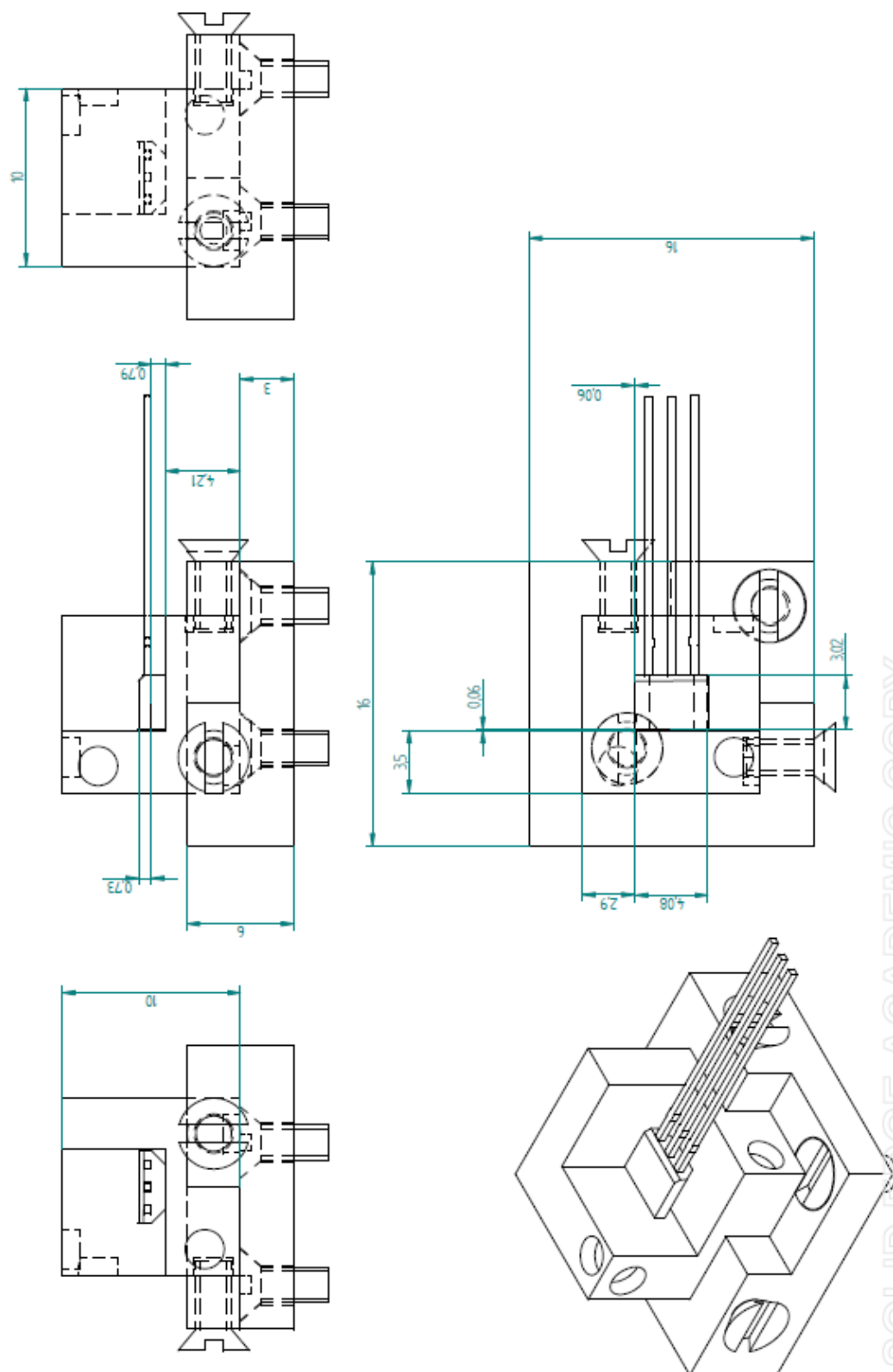
- [ref. 14] ‘Effective combination of soft magnetic materials for magnetic shielding’, S.Lee, Y. Lim, I. Choi, D. Lee, S. Kim. 2012
- [ref. 15] ‘Shielding of magnetic fields by REBCO coated conductors’, S. Matsumoto, T. Kiyoshi, A. Uchida. 2011.
- [ref. 16] ‘Local magnetic investigation of MgB_s bulk samples for magnetic shielding applications’, L. Gozzelino, B. Minetti, R. Gerbaldo, G. Ghigo, F. Laviano, A. Agostino, E. Mezzetti. 2011.
- [ref. 17] ‘Desktop magnetic shielding system for the calibration of high-sensitivity magnetometers’, K. Tashiro, H. Wakiwaka, K. Matsumura, K. Okano. 2011.
- [ref. 18] ‘Active magnetic shielding using symmetric magnetic field sensor method’, K. Kobayashi, A. Kon, M. Yoshizawa, Y. Uchikawa. 2012.
- [ref. 19] ‘Experimental performance investigation of double-layer shields at power frequency magnetic shielding’, S. koroglu, N. Umurkan, O. Kilic. 2008.
- [ref. 20] ‘Iron magnetic shielding of the series connected hybrid magnet’, Y. Zhai, M. Bird. 2010.
- [ref. 21] ‘Magnetic shielding design for magneto-electronic devices protection’, W. wang, Z. Jiang. 2008.
- [ref. 22] ‘Magnetic shielding effectiveness of iron-based amorphous alloys and nanocrystalline composites’, A. Chrobak, A. Kaleta, P. Kwapulinski, M. Kubisztal, G. Haneczok. 2011.
- [ref. 23] ‘Magnetic shielding solutions for the junction zone of high voltage underground power lines’, A. Canova, D. Bavastro, F. Freschi, L. Giaccone, M. Repetto. 2012.
- [ref. 24] ‘A Compass in Every Smartphone’, Willie D. Jones. 2010.
- [ref. 25] ‘Microfabricated atomic magnetometers and applications’, J. Kitching, J.Knappe, Shah, V.; Schwindt, P., Griffith, C., Jimenez, R., Preusser, J., Liew, L.2008

Anexos

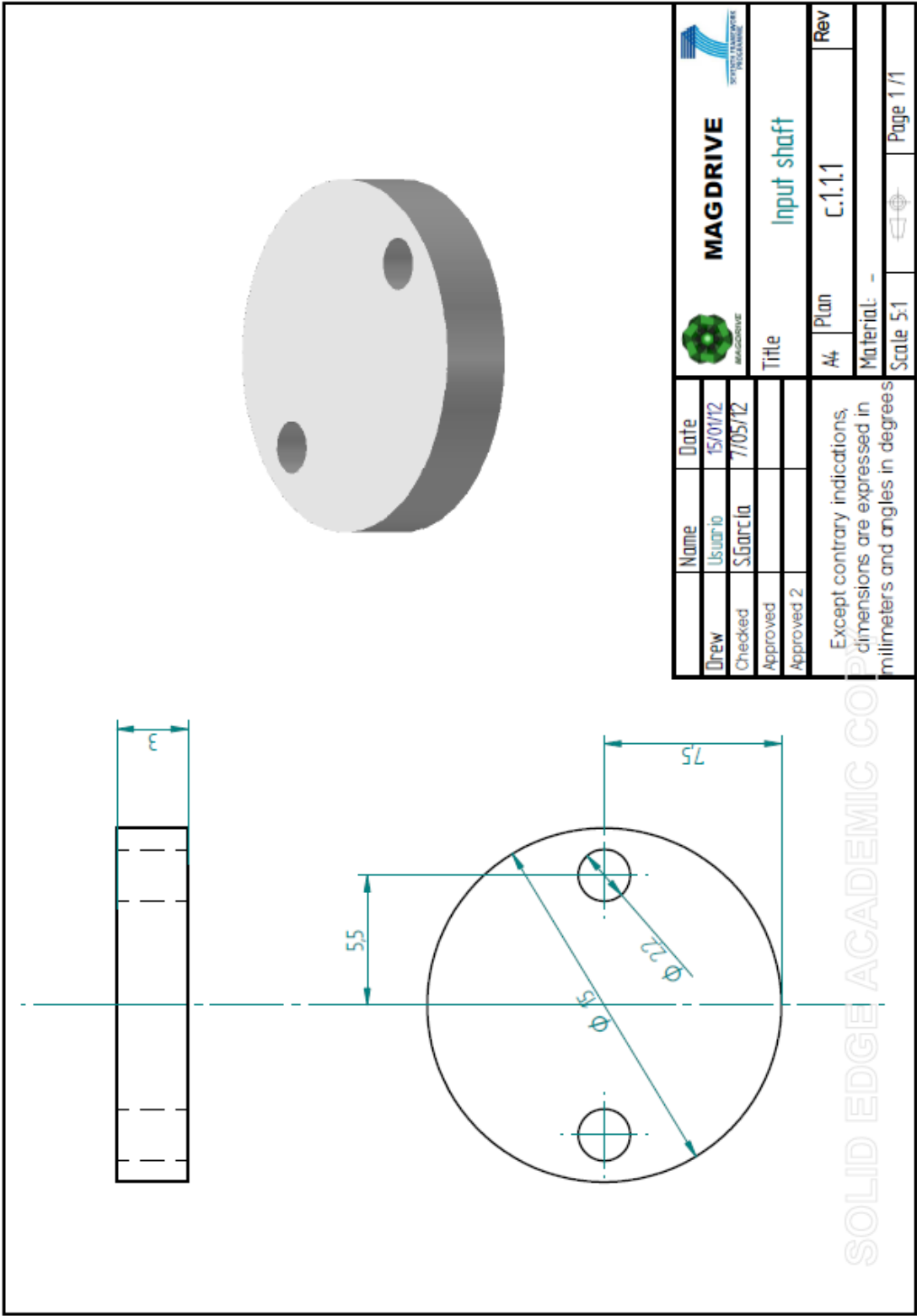
Anexo 1. Plano del magnetómetro de cubo seccionado

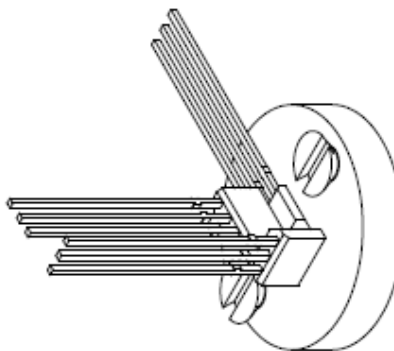
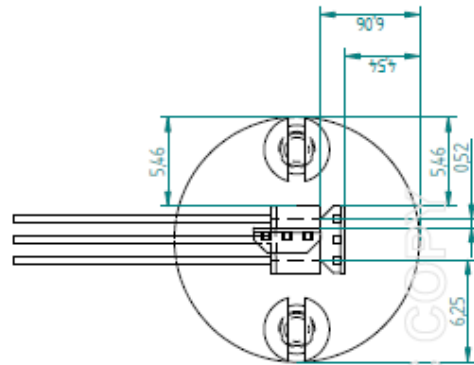
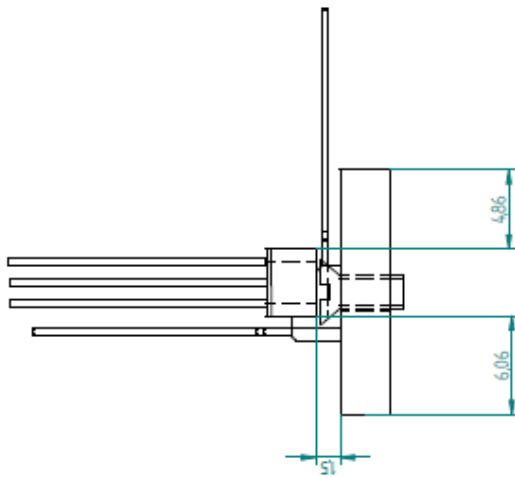
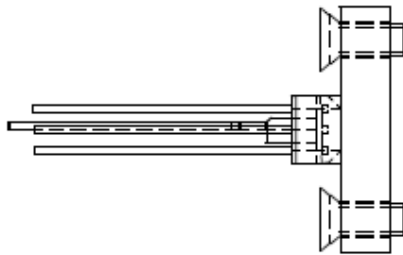
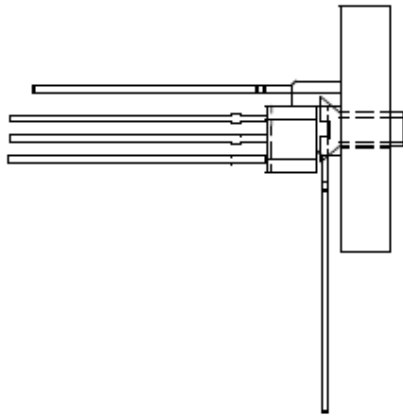




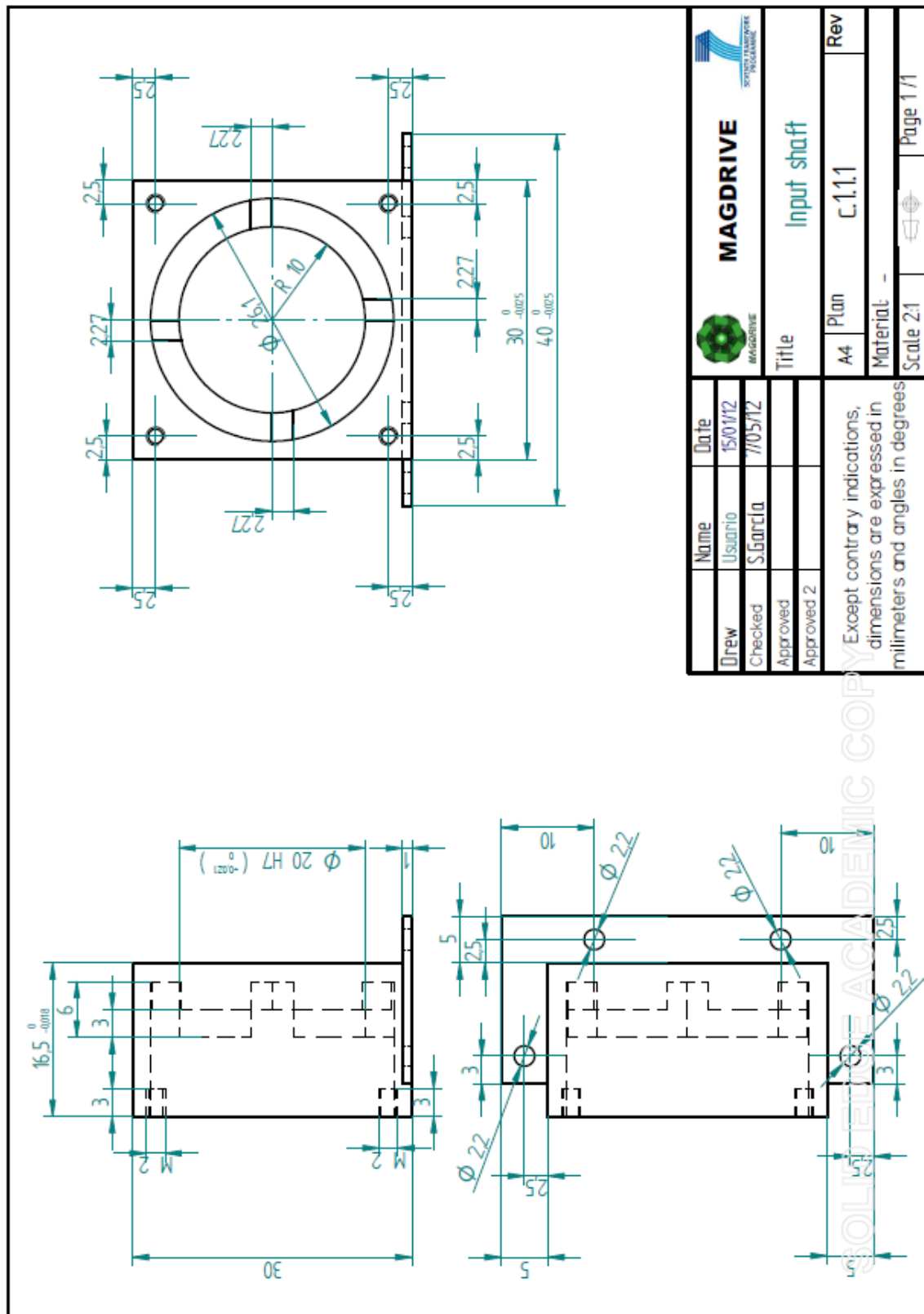


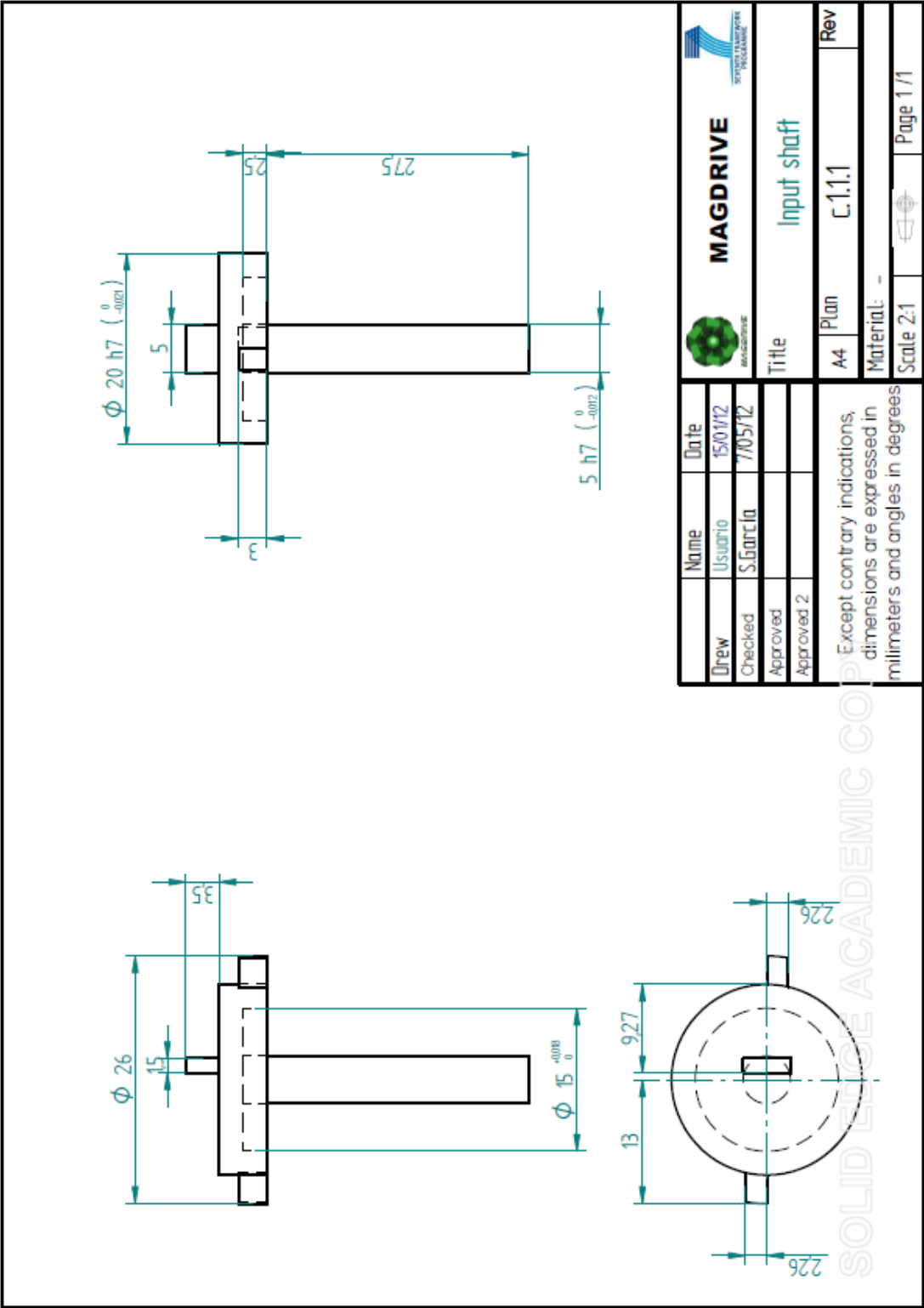
Anexo2. Planos del magnetómetro de tres sensores

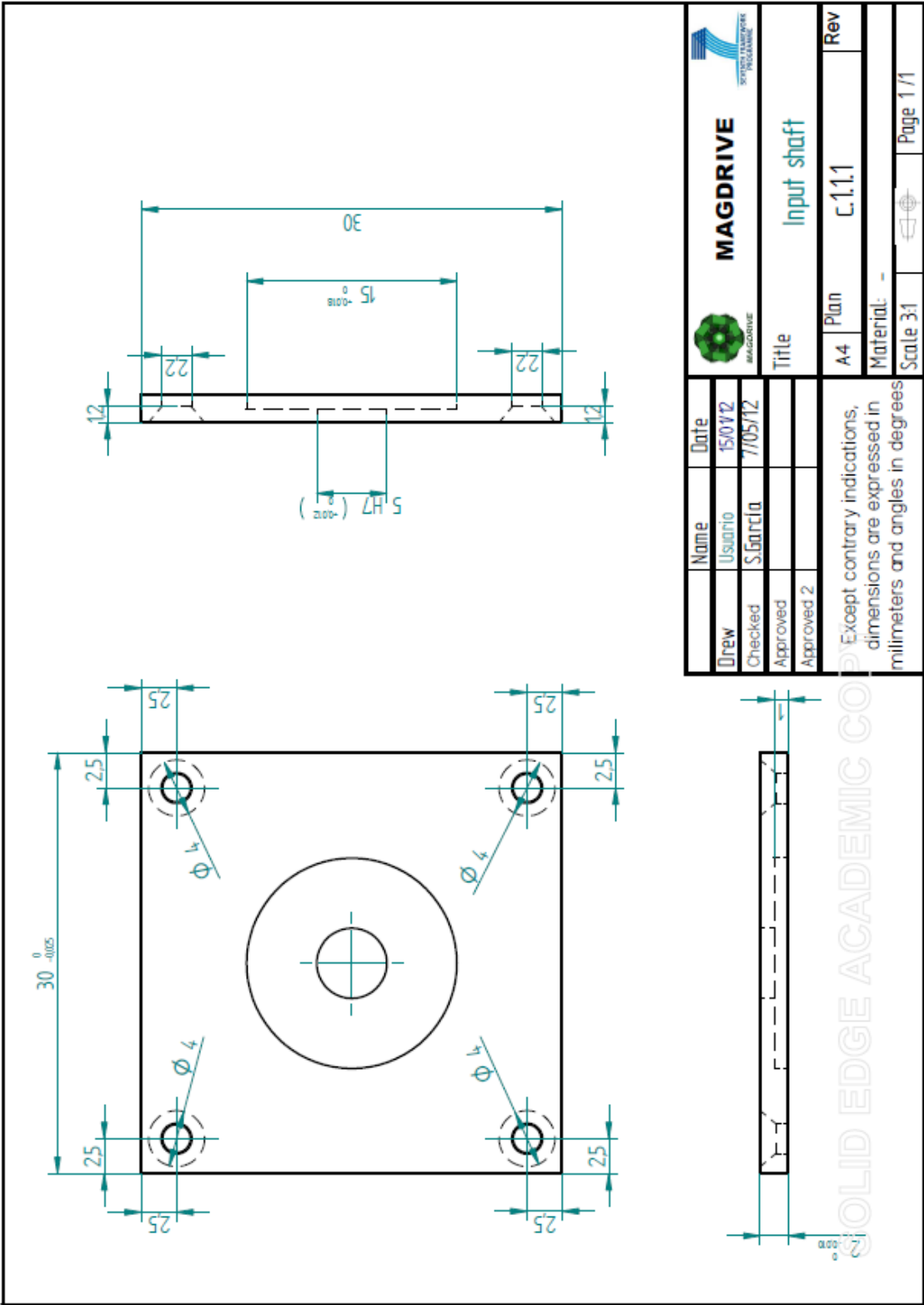


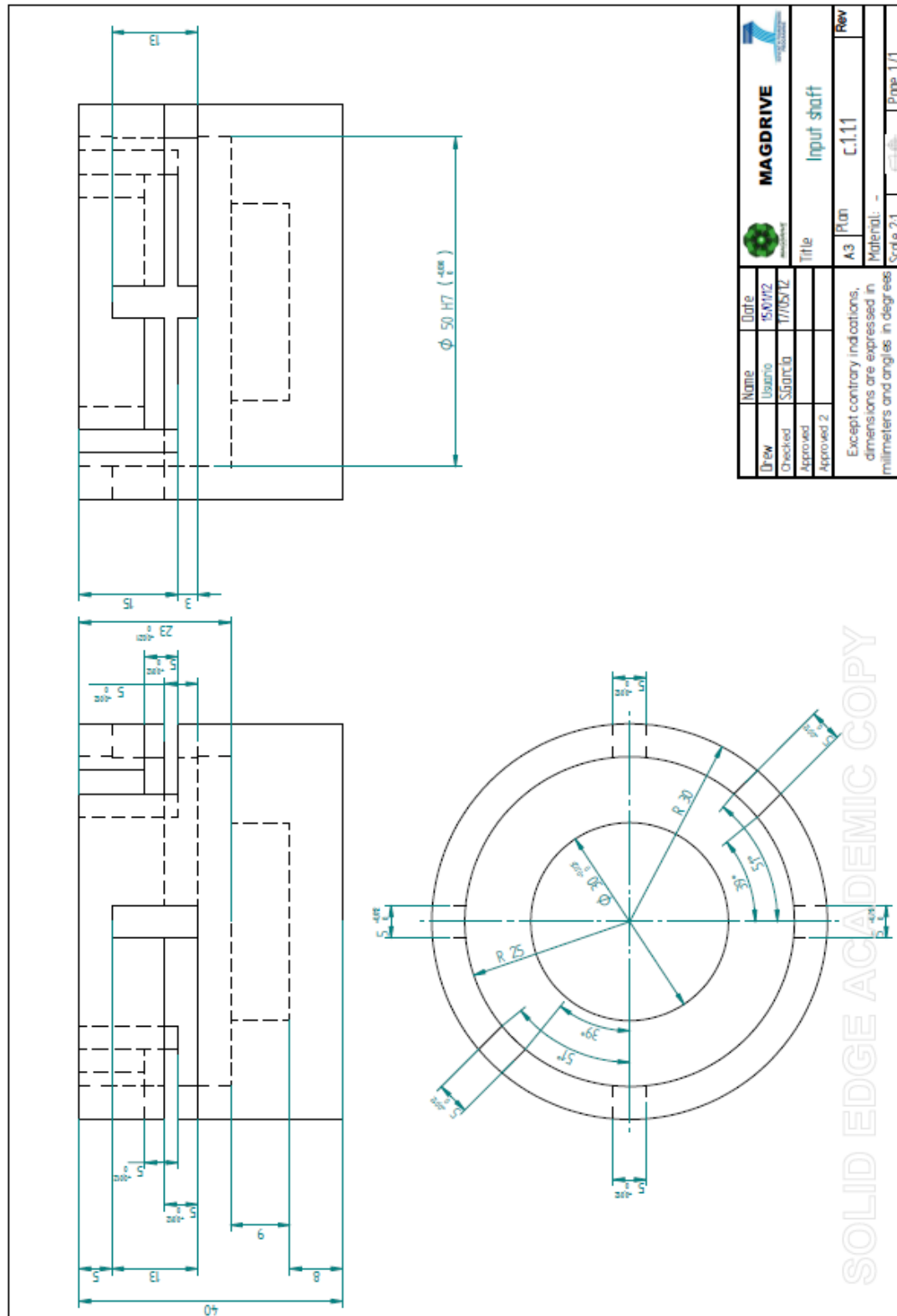


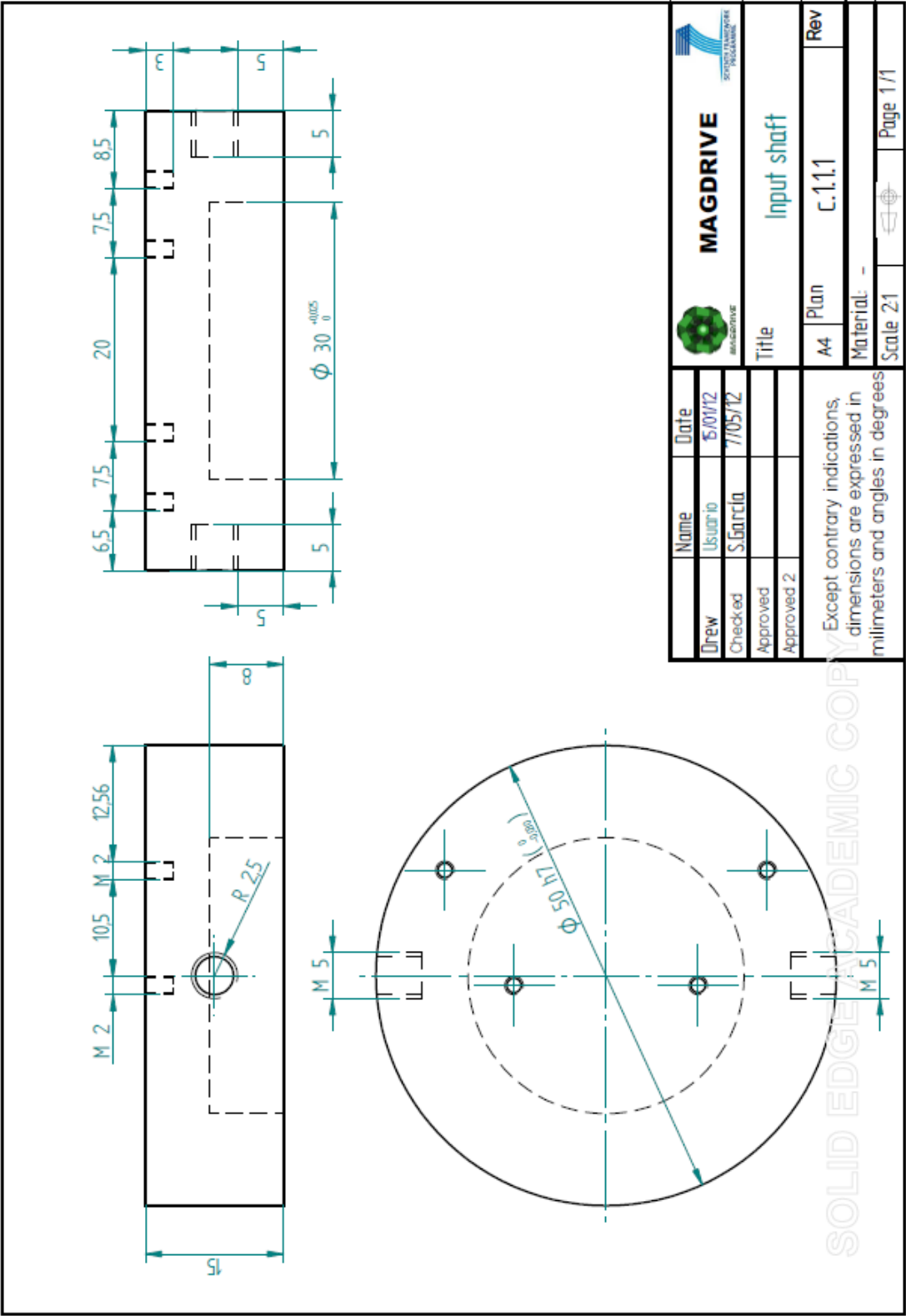
Anexo 3. Planos del magnetómetro de muelles



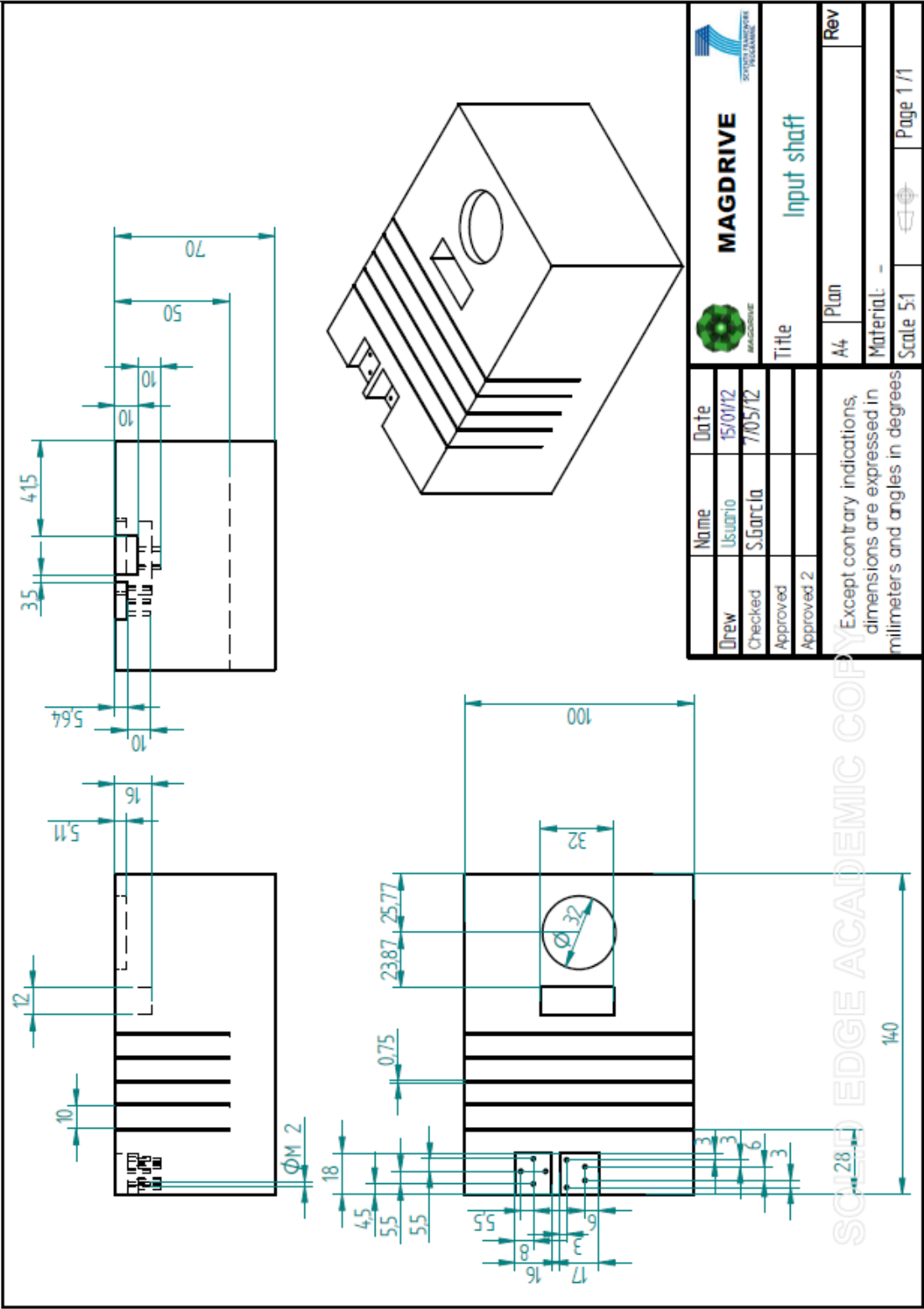








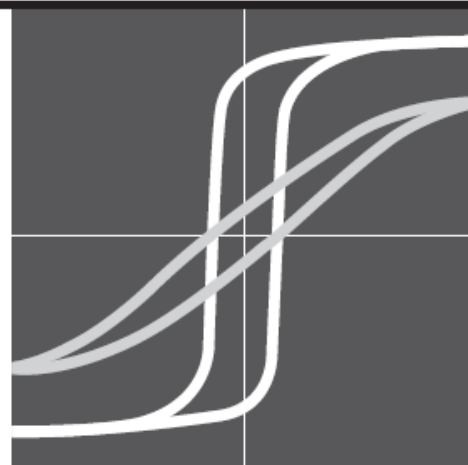
Anexo4. Plano del Banco de mediciones



Anexo5. Datos Técnicos del Mu-metal



Soft Magnetic Materials and Semi-finished Products



6. Properties

This section deals with the most important properties of the VAC soft magnetic materials supplied as semi-finished products. The data given are mean values determined from a large number of measurements. In order to achieve certain minimum or maximum values the magnetic qualities listed in section 7 are decisive.

The static properties are particularly interesting when soft magnetic materials are to be used with dc fields. This type of application usually calls for parts of greater thickness (shaped and solid parts) and places special requirements on static permeability and coercivity. Semi-finished products with thinner dimensions (strips) are mostly used with ac fields, above all with mains frequency. Thus, in this case the data and characteristics are given for 50 Hz.

And finally table 9 presents the most important physical and technological properties of our semi-finished products.

6.1 Static Properties of Solid Material (Strip Thickness >0.3 mm)

Table 8 and Fig. 7 give an overview of the static properties of the VAC alloys supplied as semi-finished products (strip thickness >0,3 mm). The values were measured on 1 mm thick stamped rings after optimum heat treatment. Depending on the form of supply and strip thickness certain deviations from these values may occur both upwards and downwards.

Table 8: Static Properties of Solid Material. Measured on Stamped Rings, Strip Thickness: 1 mm

Material	Permeability μ_4	Permeability μ_{max}	Coercivity (A/cm)	Saturation polarization (T)
MUMETALL	60000	250000	0.015	0.80
VACOPERM 100	200000	350000	0.01	0.74
PERMENORM 5000 H2	7000	120000	0.05	1.55
PERMENORM 5000 V5	9000	135000	0.04	1.55
PERMENORM 5000 S4	15000	150000	0.025	1.60
RECOVAC 50	3500	30000	0.15	1.35
MEGAPERM 40L	6000	80000	0.06	1.48
CHRONOPERM 36	6000	50000	0.05	0.75
PERMENORM 3601 K5	4000	50000	0.1	1.30
TRAFOPERM N3	1000	30000	0.2	2.03
VACOFER S1	2000	40000	0.06	2.15
VACOFLEX 50	1000	9000	1.4	2.35
VACOFLEX 17	600	4000	1.5	2.22

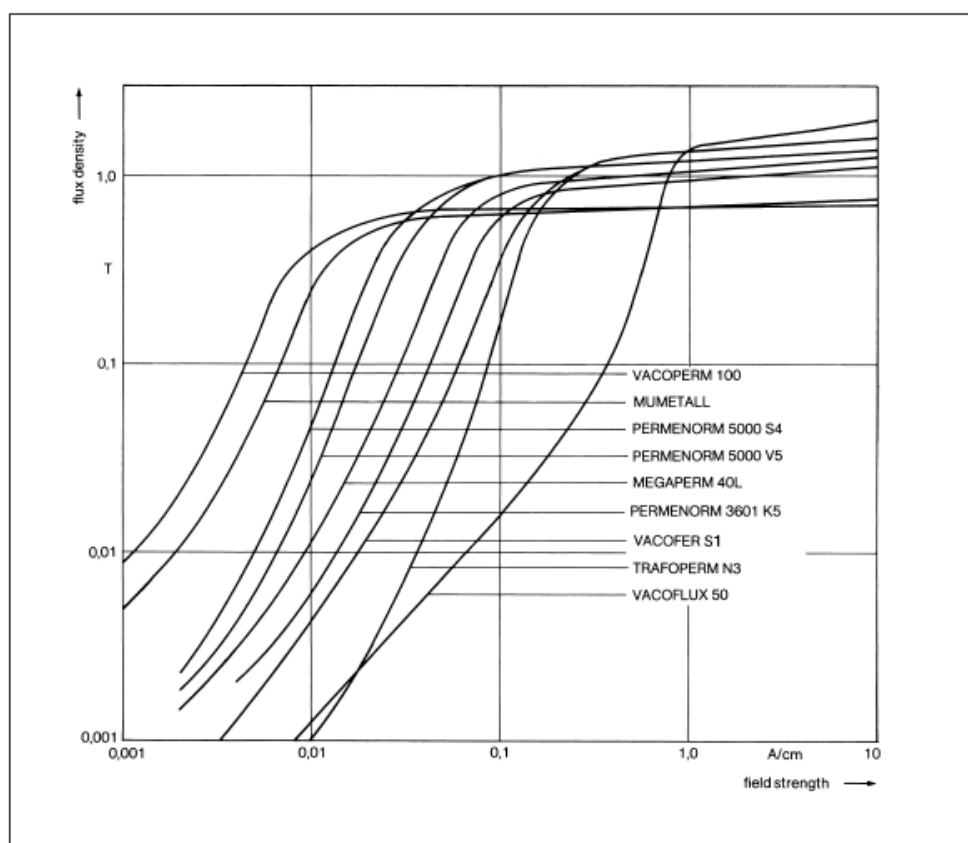


Fig. 7: Static Flux Density Field Strength Curves of Solid Material. Measured on Stamped Rings, Strip Thickness 1 mm.

6.2 Dynamic (50 Hz) Properties of Strips (Strip Thickness $\leq 0,3$ mm)

In the vast majority of cases, strips (strip thickness $\leq 0,3$ mm) made of soft magnetic materials are used in ac fields, especially in mains frequencies.

Table 9 below, and figs. 8 and 9 present the dynamic properties at 50 Hz. These values are also average values measured on toroidal cores of typical thickness for these alloys.

Table 9: Dynamic (50 Hz) Properties of Strips. Measured on Toroidal Cores, Strip Thickness: See Table

Material	Strip thickness mm	Permeability μ_4	μ_{max}	Losses ¹⁾ (W/kg)	Saturation Polarization (T)
MUMETALL	0.2	60000	150000	$p_{0,5} = 0.025$	0.80
VACOPERM BS		30000	150000	$p_{0,5} = 0.03$	0.97
VACOPERM 100	0.1	100000	250000	$p_{0,5} = 0.015$	0.74
ULTRAPERIM 10	0.1	150000	300000	$p_{0,5} = 0.01$	0.74
ULTRAPERIM 200	0.05 – 0.1	250000	350000	$p_{0,5} = 0.005$	0.74
ULTRAPERIM 250	0.05	270000	400000	$p_{0,5} = 0.005$	0.74
ULTRAPERIM 91R	0.1	150000	250000	$p_{0,5} = 0.015$	0.66
CRYOPERM 10	0.1 ²⁾	65000 ²⁾	160000 ²⁾	–	0.90 ²⁾
RECOVAC BS	0.1	25000	50000	$p_{0,5} = 0.01$	0.80
PERMAX M	0.2	50000	110000	$p_{1,0} = 0.1$	1.50
PERMENORM 5000 H2	0.2	12000	90000	$p_{1,0} = 0.25$	1.55
MEGAPERIM 40 L	0.2	9000	75000	$p_{1,0} = 0.2$	1.48
PERMENORM 3601 K5	0.2	4000	50000	$p_{1,0} = 0.3$	1.30
TRAFOPERM N3	0.3	700	13000	$p_{1,0} = 1.0$	2.03
VACOFLEX 48	0.35	1200	20000	$p_{2,0} = 60^\circ$	2.35
VACOFLEX 50	0.35	1000	12000	$p_{2,0} = 64^\circ$	2.35
VACODUR 50 ³⁾	0.35	–	–	$p_{2,0} = 92^\circ$	2.3
VACODUR 50 ⁴⁾	0.35	–	–	$p_{2,0} = 75^\circ$	2.3
VACOFLEX 17	0.35	600	4000	$p_{2,0} = 90^\circ$	2.22

¹⁾ $p_{0,5}$ = specific core losses at 0.5 T etc.

²⁾ Magnetic properties at 77.3 K resp. 4.2 K

³⁾ With optimum mechanical properties

⁴⁾ With optimum magnetic properties

⁵⁾ Losses at 400 Hz

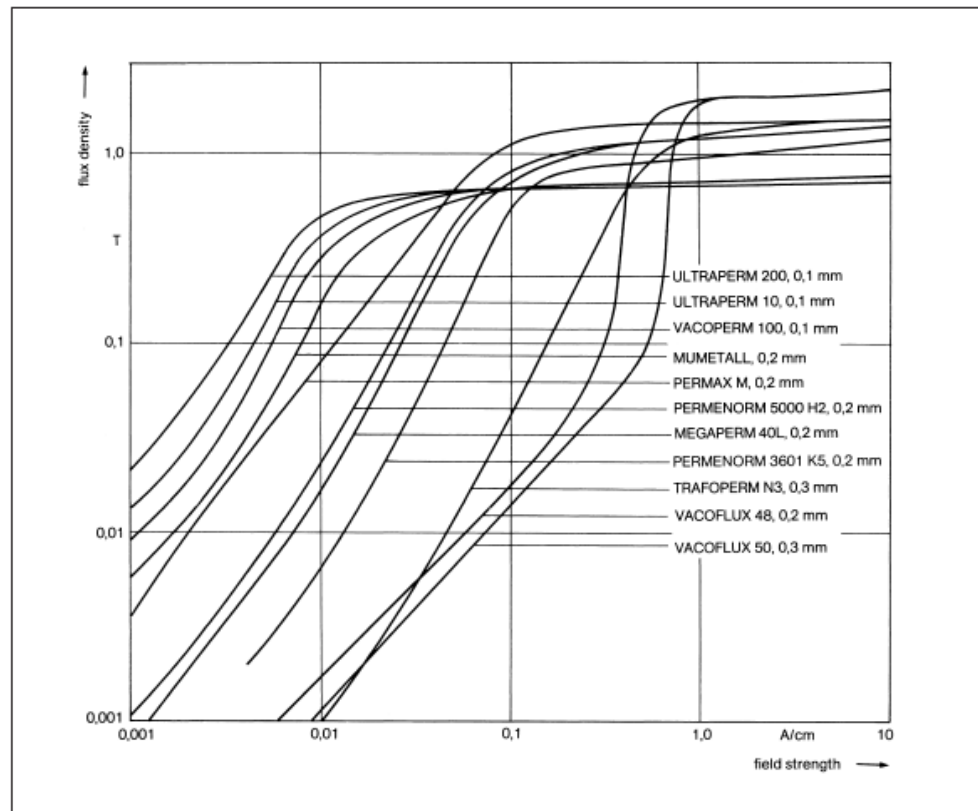


Fig. 8: Dynamic (50 Hz) Flux Density Field Strength Curves of Strips, Strip Thickness: ≤ 0.3 mm. Measured on Toroidal Cores

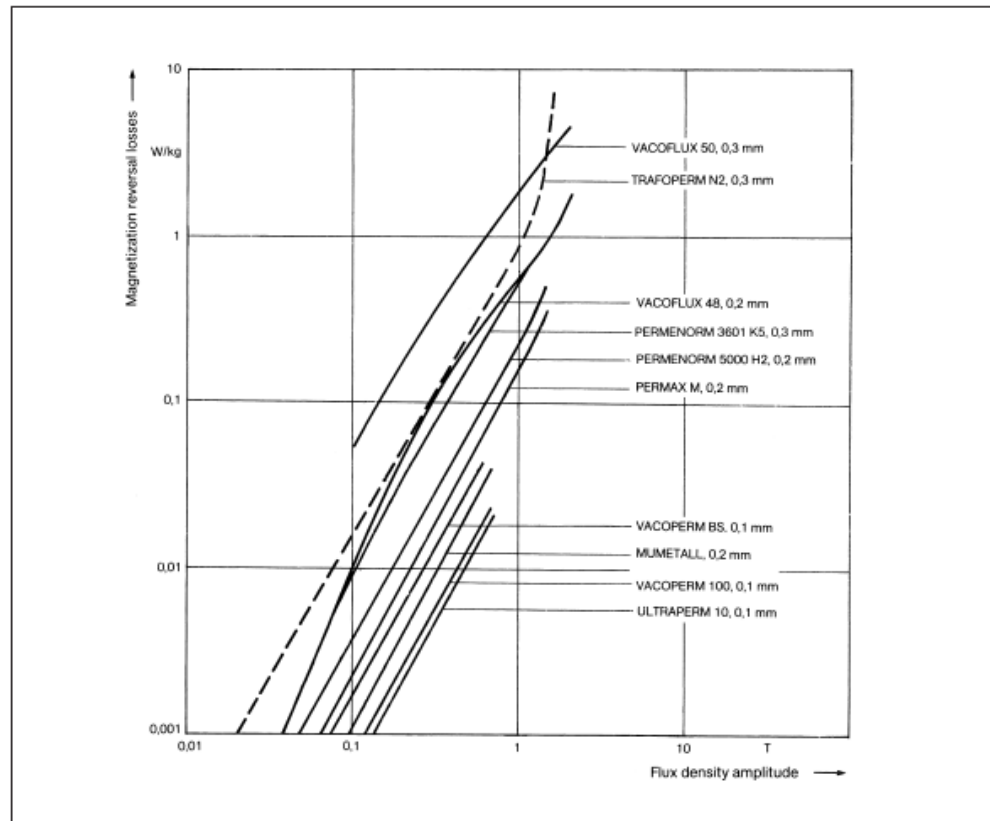


Fig. 9: Remagnetization Losses ($f = 50$ Hz) of different Soft Magnetic Materials

6.3 Physical and Technological Properties of our Semi-finished Products

Several of the important physical and technological properties of our soft magnetic materials are compiled in table 9.

Section 4 (state of delivery) lists the feasible hardness values.

6.4 Temperature Dependence of the Magnetic Properties

The Curie point of a magnetic material is largely governed by the alloy composition. The temperature dependence of saturation polarization obeys the same function in almost all materials. Fig. 10 shows the saturation polarization curve as a function of temperature for the most important soft magnetic alloys. The Curie temperatures T_c can be read off table 9.

Table 9: Physical and Technological Properties of Crystalline Materials

Material	Density	El. resistivity	Thermal conductivity	Curie temperature	Young's modulus ¹⁾	Cupping ²⁾ (DIN 50 101)	Coefficient of thermal expansion (20-100°C) in 10 ⁻⁶ /K
	g/cm ³	Ω mm ² /m	W/Km	°C	kN/mm ²	mm	
MUMETALL	8.7	0.55	17 – 19	400	200	> 8	13.5
VACOPERM 100	8.7	0.60	17 – 19	360	170	> 8	13.5
ULTRAPERM 10	8.7	0.60	17 – 19	360	170	> 8	13.5
ULTRAPERM 200	8.7	0.60	17 – 19	360	170	–	13.5
ULTRAPERM 250	8.7	0.60	17 – 19	360	170	–	13.5
ULTRAPERM 91R	8.7	0.60	17 – 19	370	170	> 8	13.5
CRYOPERM 10 ³⁾	8.7	0.35 ³⁾	17 – 19	430	–	–	13.5
VACOPERM BS	8.7	0.60	17 – 19	500	170	> 8	13.5
RECOVAC BS	8.7	0.48	17 – 19	440	195	> 8	12.0
PERMENORM 5000 H2	8.25	0.45	13 – 14	440	140	> 8	10.0
PERMENORM 5000 V5	8.25	0.45	13 – 14	440	140	> 8	10.0
PERMENORM 5000 S4	8.25	0.40	13 – 14	500	160	> 8	10.0
RECOVAC 50	8.15	0.65	–	400	150	–	8.0
PERMENORM 3601 K5	8.15	0.75	13 – 14	250	135	> 8	4.0
MEGAPERM 40 L	8.20	0.60	13 – 14	310	100	> 8	4.0
CHRONOPERM 36	8.20	0.93	–	180	170	–	6.3
THERMOFLUX 55/100 G	8.15						
TRAFOPERM N3	7.65	0.40	31	750	180	not for deep drawing 9 – 11	12.0
VACOFER S1	7.87	0.10	72	770	200		13.0
VACOFLEX 48	8.12	0.44	30	950	200	not for deep drawing	9.5
VACOFLEX 50	8.12	0.44	30	950	210	not for deep drawing	9.5
VACODUR 50	8.12	0.42	–	950	250	not for deep drawing	10.2
VACOFLEX 17	7.94	0.39	–	920	200	not for deep drawing 6 – 8	10.8

¹⁾ Magnetically final annealed

²⁾ State of delivery: soft-deep drawable

³⁾ Magnetic properties at 77.3 K resp. 4.2 K

Spezifikation für Freigabe / specification for release

Kunde / customer :

Artikelnummer / part number : 32401

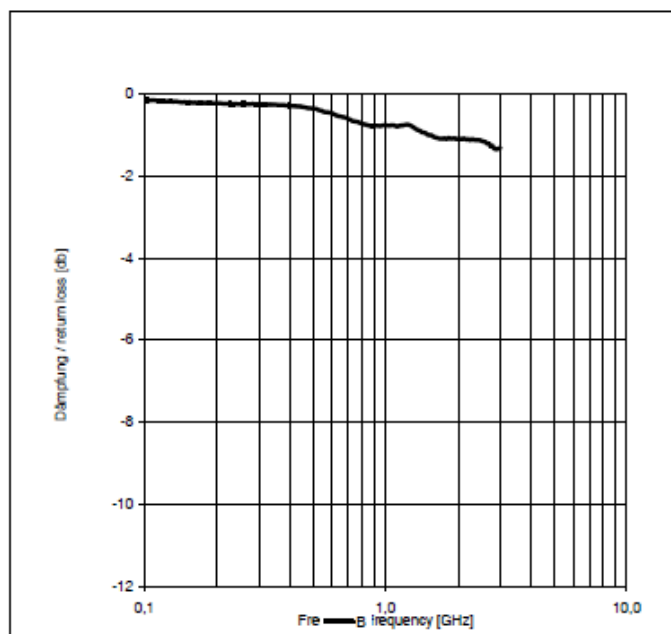
Bezeichnung : Flexible Absorber Folie WE-FAS EMI

description : Flexible absorber foil WE-FAS EMI



DATUM / DATE : 2008-11-27

H Dämpfung / return loss:



B:

Freigabe erteilt / general release:	Kunde / customer			
Datum / date	Unterschrift / signature			
	Würth Elektronik			
		RT	Update	2008-11-27
		RT	Neugestaltung	2008-08-12
Geprüft / checked	Kontrolliert / approved	Name	Änderung / modification	Datum / date

This electronic component has been designed and developed for usage in general electronic equipment. Before incorporating this component into any equipment where higher safety and reliability is especially required or if there is the possibility of direct damage or injury to human body, for example in the range of aerospace, aviation, nuclear control, submarine, transportation, (automotive control, train control, ship control), transportation signal, disaster prevention, medical, public information network, etc. Würth Elektronik eiSos GmbH must be informed before the design-in stage. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on every electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG

D-74638 Waldenburg · Max-Eyth-Strasse 1 · 3 · Germany · Telefon (+49) (0) 7942 - 945 - 0 · Telefax (+49) (0) 7942 - 945 - 400
<http://www.we-online.com>

SEITE 2 VON 2

Anexo 7.- Documentación Técnica del EMI-metal con espesor 0,2mm

Spezifikation für Freigabe / specification for release

Kunde / customer :
 Artikelnummer / part number : 32402
 Bezeichnung : Flexible Absorber Folie WE-FAS EMI
 description : Flexible absorber foil WE-FAS EMI

DATUM / DATE : 2008-11-27

A Mechanische Abmessungen / dimensions:

A	297 ± 1	mm
B	210 ± 1	mm
C	0,2 ± 0,05	mm

C is measured without without adhesive tape

B Elektrische Eigenschaften / electrical properties:

Eigenschaften / properties	Testbedingungen / test conditions		Wert / value	Einheit / unit
Reißfestigkeit / tensile strenght			6	Mpa
DC-Widerstand / DC-resistance	ASTM D257	RDC	5,0x10 ⁸	Ω-cm

C

D Prüfgeräte / test equipment:

Agilent E5071B Network Analyser
 Agilent E4991B Material Analyser

E Testbedingungen / test conditions:

Luftfeuchtigkeit / humidity: 33%
 Umgebungstemperatur / temperature: + 20°C

F Werkstoffe & Zulassungen / material & approvals

Basismaterial / base material: UL 94V-0

G Eigenschaften / general specifications:

Lagertemperatur / storage temperature: -20°C - +90°C
 Betriebstemp. / operating temperature: -20°C - +90°C

Freigabe erteilt / general release:

Kunde / customer

Datum / date

Unterschrift / signature

Würth Elektronik

Gepf. / checked

Kontrolliert / approved

RT	Update	2008-11-27
RT	Neugestaltung	2008-06-10
Name	Änderung / modification	Datum / date

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG

D-74638 Waldenburg · Max-Eyth-Strasse 1 · 3 · Germany · Telefon (+49) (0) 7942 · 945 · 0 · Telefax (+49) (0) 7942 · 945 · 400

http://www.wue-online.com

Spezifikation für Freigabe / specification for release

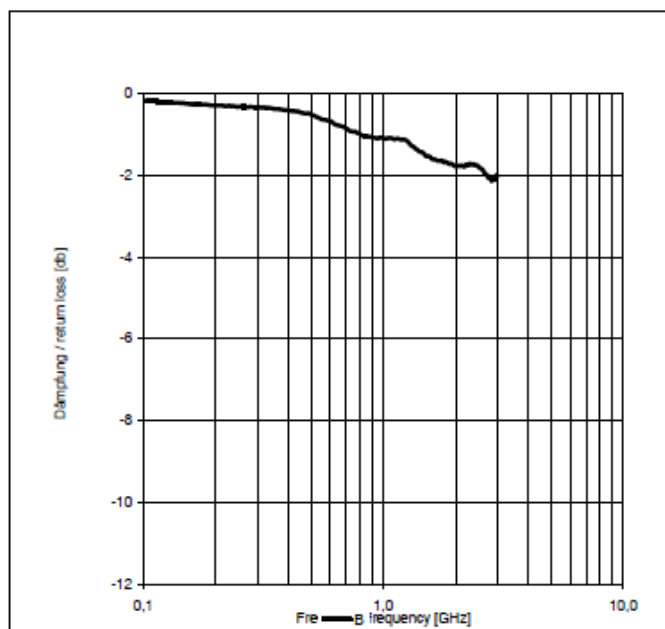
Kunde / customer :
 Artikelnummer / part number : 32402
 Bezeichnung : Flexible Absorber Folie WE-FAS EMI
 description : Flexible absorber foil WE-FAS EMI



WÜRTH ELEKTRONIK

DATUM / DATE : 2008-11-27

H Dämpfung / return loss:



B:

Freigabe erteilt / general release:	Kunde / customer			
Datum / date	Unterschrift / signature			
	Würth Elektronik			
		RT	Update	2008-11-27
		RT	Neugestaltung	2008-09-12
Geprüft / checked	Kontrolliert / approved	Name	Änderung / modification	Datum / date

This electronic component has been designed and developed for usage in general electronic equipment. Before incorporating this component into any equipment where higher safety and reliability is especially required or if there is the possibility of direct damage or injury to human body, for example in the range of aerospace, aviation, nuclear control, submarine, transportation, (automotive control, train control, ship control, transportation signal, disaster prevention, medical, public information network etc. Würth Elektronik eiSos GmbH must be informed before the design-in stage. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on every electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG

D-74638 Waldenburg · Max-Eyth-Strasse 1 · 3 · Germany · Telefon (+49) (0) 7942 · 945 · 0 · Telefax (+49) (0) 7942 · 945 · 400
<http://www.we-online.com>

SEITE 2 VON 2

Anexo 8. Documentación Técnica del sensor de efecto Hall A1301EUA-T



A1301 and A1302

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensors

Features and Benefits

- Low-noise output
- Fast power-on time
- Ratiometric rail-to-rail output
- 4.5 to 6.0 V operation
- Solid-state reliability
- Factory-programmed at end-of-line for optimum performance
- Robust ESD performance

Packages: 3 pin SOT23W (suffix LH), and 3 pin SIP (suffix UA)



Not to scale

Description

The A1301 and A1302 are continuous-time, ratiometric, linear Hall-effect sensors. They are optimized to accurately provide a voltage output that is proportional to an applied magnetic field. These devices have a quiescent output voltage that is 50% of the supply voltage. Two output sensitivity options are provided: 2.5 mV/G typical for the A1301, and 1.3 mV/G typical for the A1302.

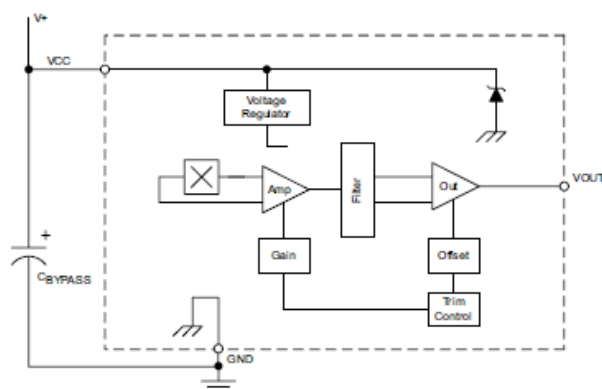
The Hall-effect integrated circuit included in each device includes a Hall sensing element, a linear amplifier, and a CMOS Class A output structure. Integrating the Hall sensing element and the amplifier on a single chip minimizes many of the problems normally associated with low voltage level analog signals.

High precision in output levels is obtained by internal gain and offset trim adjustments made at end-of-line during the manufacturing process.

These features make the A1301 and A1302 ideal for use in position sensing systems, for both linear target motion and rotational target motion. They are well-suited for industrial applications over extended temperature ranges, from -40°C to 125°C .

Two device package types are available: LH, a 3-pin SOT23W type for surface mount, and UA, a 3-pin ultramini SIP for through-hole mount. They are lead (Pb) free (suffix, -T) with 100% matte tin plated leadframes.

Functional Block Diagram



A1301-DS, Rev. 5

A1301 and A1302

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensors

Selection Guide					
Part Number	Pb-free ¹	Packing ²	Package	Ambient, T _A	Sensitivity (Typical)
A1301ELHLT-T	Yes	7-in. tape and reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 85°C	2.5 mV/G
A1301EUA-T	Yes	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		
A1301KLHLT-T	Yes	7-in. tape and reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 125°C	
A1301KUA-T	Yes	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		
A1302ELHLT-T	Yes	7-in. tape and reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 85°C	1.3 mV/G
A1302EUA-T	Yes	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		
A1302KLHLT-T	Yes	7-in. tape and reel, 3000 pieces/reel	Surface Mount	-40°C to 125°C	
A1302KUA-T	Yes	Bulk, 500 pieces/bag	SIP		

¹Pb-based variants are being phased out of the product line. Certain variants cited in this footnote are no longer in production. The variants should not be purchased for new design applications. Samples are no longer available. Status change: May 1, 2006. These variants include: A1301ELHLT, A1301EUA, A1301KLHLT, A1301KUA, A1302ELHLT, A1302EUA, A1302KLHLT, and A1302KUA.

²Contact Allegro for additional packing options.



Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Output Voltage	V _{OUT}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Output Sink Current	I _{OUT}		10	mA
Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
		Range K	-40 to 125	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-65 to 170	°C



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

2

A1301 and A1302

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensors

DEVICE CHARACTERISTICS over operating temperature range, T_A , and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise noted

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Electrical Characteristics						
Supply Voltage	V_{CC}	Running, $T_J < 185^\circ\text{C}$	4.5	—	6	V
Supply Current	I_{CC}	Output open	—	—	11	mA
Output Voltage	$V_{OUT(High)}$	$I_{SOURCE} = -1\text{ mA}$, Sens = nominal	4.65	4.7	—	V
	$V_{OUT(Low)}$	$I_{SINK} = 1\text{ mA}$, Sens = nominal	—	0.2	0.25	V
Output Bandwidth	BW		—	20	—	kHz
Power-On Time	t_{PO}	$V_{CC(min)}$ to $0.95 V_{OUT}$; $B = \pm 1400\text{ G}$; Slew rate = $4.5\text{ V}/\mu\text{s}$ to $4.5\text{ V}/100\text{ ns}$	—	3	5	μs
Output Resistance	R_{OUT}	$I_{SINK} \leq 1\text{ mA}$, $I_{SOURCE} \geq -1\text{ mA}$	—	2	5	Ω
Wide Band Output Noise, rms	V_{OUTN}	External output low pass filter $\leq 10\text{ kHz}$; Sens = nominal	—	150	—	μV
Ratiometry						
Quiescent Output Voltage Error with respect to ΔV_{CC} ¹	$\Delta V_{OUTQ(V)}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	—	—	± 3.0	%
Magnetic Sensitivity Error with respect to ΔV_{CC} ²	$\Delta \text{Sens}(V)$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	—	—	± 3.0	%
Output						
Linearity	Lin	$T_A = 25^\circ\text{C}$	—	—	± 2.5	%
Symmetry	Sym	$T_A = 25^\circ\text{C}$	—	—	± 3.0	%
Magnetic Characteristics						
Quiescent Output Voltage	V_{OUTQ}	$B = 0\text{ G}$; $T_A = 25^\circ\text{C}$	2.4	2.5	2.6	V
Quiescent Output Voltage over Operating Temperature Range	$V_{OUTQ(\Delta T_A)}$	$B = 0\text{ G}$	2.2	—	2.8	V
Magnetic Sensitivity	Sens	A1301; $T_A = 25^\circ\text{C}$	2.0	2.5	3.0	mV/G
		A1302; $T_A = 25^\circ\text{C}$	1.0	1.3	1.6	mV/G
Magnetic Sensitivity over Operating Temperature Range	$\text{Sens}(\Delta T_A)$	A1301	1.8	—	3.2	mV/G
		A1302	0.85	—	1.75	mV/G

¹Refer to equation (4) in Ratiometric section on page 4.

²Refer to equation (5) in Ratiometric section on page 4.



Allegro Microsystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

3

A1301 and A1302

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensors

Characteristic Definitions

Quiescent Output Voltage. In the quiescent state (no significant magnetic field: $B = 0$), the output, V_{OUTQ} , equals one half of the supply voltage, V_{CC} , throughout the entire operating ranges of V_{CC} and ambient temperature, T_A . Due to internal component tolerances and thermal considerations, there is a tolerance on the quiescent output voltage, ΔV_{OUTQ} , which is a function of both ΔV_{CC} and ΔT_A . For purposes of specification, the quiescent output voltage as a function of temperature, $\Delta V_{OUTQ}(\Delta T_A)$, is defined as:

$$\Delta V_{OUTQ}(\Delta T_A) = \frac{V_{OUTQ}(T_A) - V_{OUTQ}(25^\circ\text{C})}{Sens(25^\circ\text{C})} \quad (1)$$

where $Sens$ is in mV/G, and the result is the device equivalent accuracy, in gauss (G), applicable over the entire operating temperature range.

Sensitivity. The presence of a south-polarity (+B) magnetic field, perpendicular to the branded face of the device package, increases the output voltage, V_{OUT} , in proportion to the magnetic field applied, from V_{OUTQ} toward the V_{CC} rail. Conversely, the application of a north polarity (-B) magnetic field, in the same orientation, proportionally decreases the output voltage from its quiescent value. This proportionality is specified as the magnetic sensitivity of the device and is defined as:

$$Sens = \frac{V_{OUT(-B)} - V_{OUT(+B)}}{2B} \quad (2)$$

The stability of the device magnetic sensitivity as a function of ambient temperature, $\Delta Sens(\Delta T_A)$ (%) is defined as:

$$\Delta Sens(\Delta T_A) = \frac{Sens(T_A) - Sens(25^\circ\text{C})}{Sens(25^\circ\text{C})} \times 100\% \quad (3)$$

Ratiometric. The A1301 and A1302 feature a ratiometric output. This means that the quiescent voltage output, V_{OUTQ} , and the magnetic sensitivity, $Sens$, are proportional to the supply voltage, V_{CC} .

The ratiometric change (%) in the quiescent voltage output is defined as:

$$\Delta V_{OUTQ}(\Delta V) = \frac{V_{OUTQ}(V_{CC}) / V_{OUTQ}(5V)}{V_{CC} / 5V} \times 100\% \quad (4)$$

and the ratiometric change (%) in sensitivity is defined as:

$$\Delta Sens(\Delta V) = \frac{Sens(V_{CC}) / Sens(5V)}{V_{CC} / 5V} \times 100\% \quad (5)$$

Linearity and Symmetry. The on-chip output stage is designed to provide linear output at a supply voltage of 5 V. Although the application of very high magnetic fields does not damage these devices, it does force their output into a nonlinear region. Linearity in percent is measured and defined as:

$$Lin+ = \frac{V_{OUT(+B)} - V_{OUTQ}}{2(V_{OUT(+B)} - V_{OUTQ})} \times 100\% \quad (6)$$

$$Lin- = \frac{V_{OUT(-B)} - V_{OUTQ}}{2(V_{OUT(-B)} - V_{OUTQ})} \times 100\% \quad (7)$$

and output symmetry as:

$$Sym = \frac{V_{OUT(+B)} - V_{OUTQ}}{V_{OUTQ} - V_{OUT(-B)}} \times 100\% \quad (8)$$



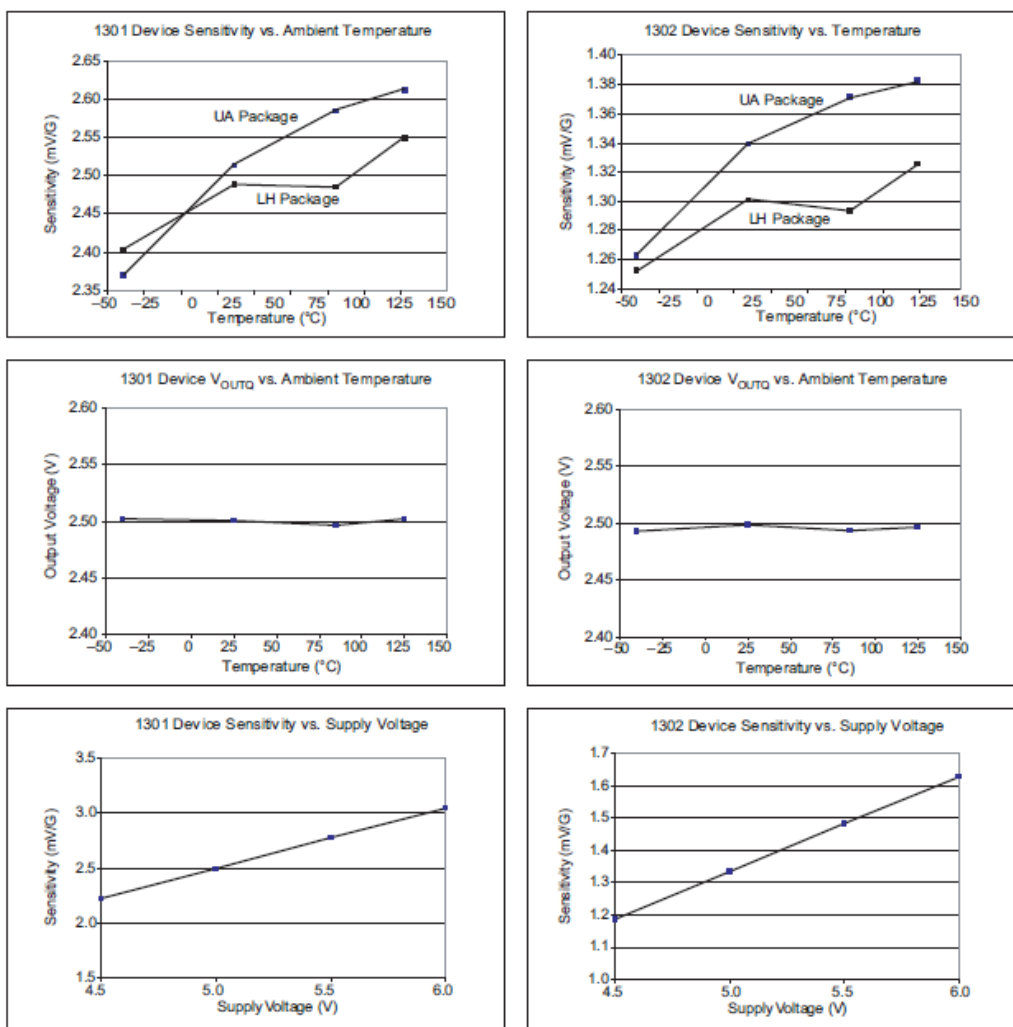
Allegro Microsystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

4

A1301 and A1302

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensors

Typical Characteristics
(30 pieces, 3 fabrication lots)



Continued on the next page...

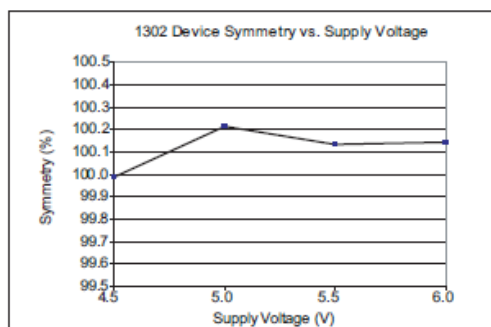
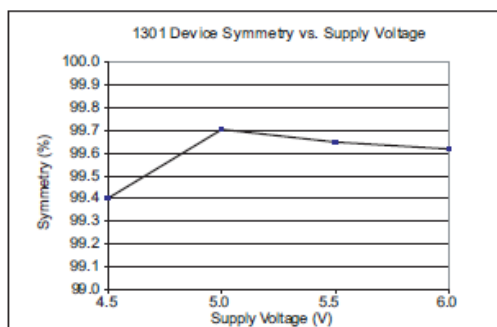
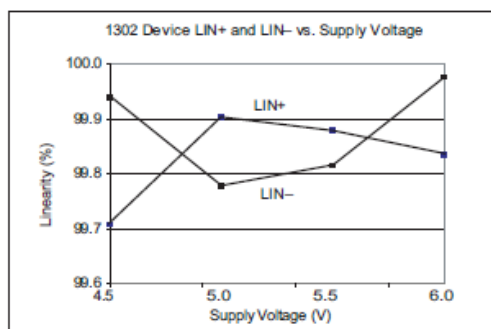
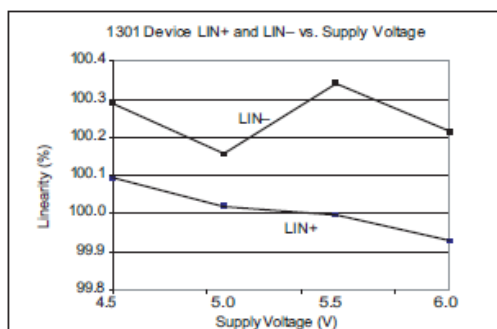
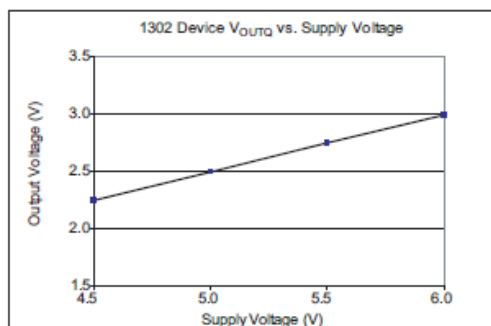
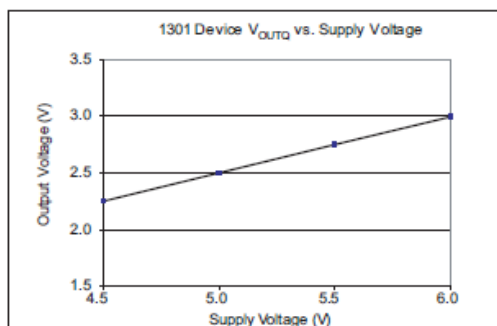


Allegro Microsystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

5

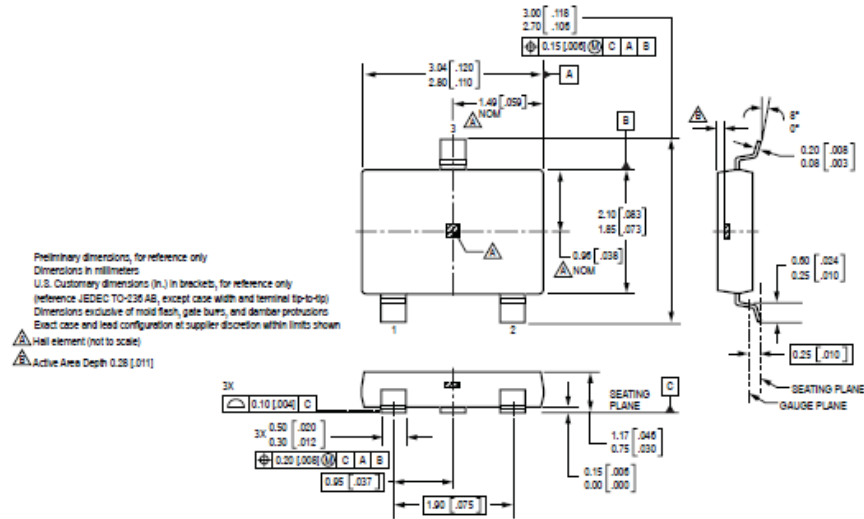
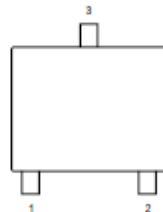
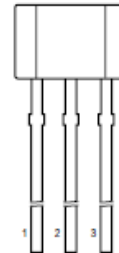
**A1301 and
A1302**
**Continuous-Time Ratiometric
Linear Hall Effect Sensors**

Typical Characteristics, continued
(30 pieces, 3 fabrication lots)



Allegro Microsystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

6

**A1301 and
A1302**
**Continuous-Time Ratiometric
Linear Hall Effect Sensors**
Package LH, 3-Pin; (SOT-23W)

Pin-out Drawings
Package LH

Package UA

Terminal List

Symbol	Number		Description
	Package LH	Package UA	
VCC	1	1	Connects power supply to chip
VOU	2	3	Output from circuit
GND	3	2	Ground



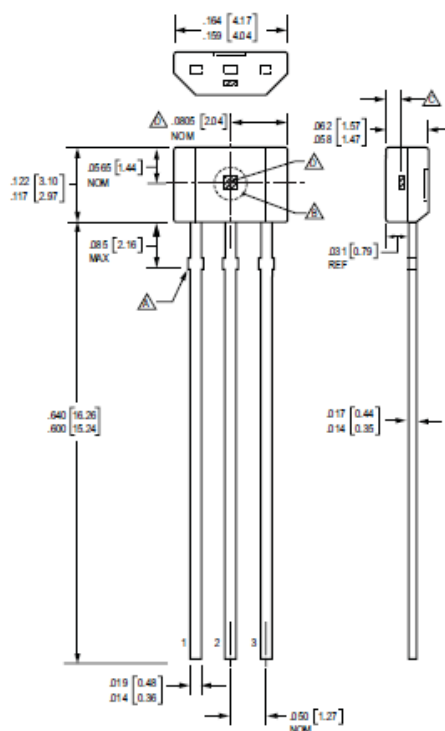
Allegro Microsystems, Inc.
115 Northeast Outoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

7

A1301 and A1302

Continuous-Time Ratiometric Linear Hall Effect Sensors

Package UA, 3-Pin SIP



The products described herein are manufactured under one or more of the following U.S. patents: 5,045,920; 5,264,783; 5,442,283; 5,389,889; 5,581,179; 5,517,112; 5,619,137; 5,621,319; 5,650,719; 5,686,894; 5,694,038; 5,729,130; 5,917,320; and other patents pending.

Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro products are not authorized for use as critical components in life-support devices or systems without express written approval.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

Copyright © 2005, 2006 Allegro MicroSystems, Inc.



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

8

Anexo 9. Documentación Técnica del DAQ 6009 de Natyonal Instrument



Ventas
España
91 640 0085
ni.spain@ni.com

NI USB-6009

DAQ Multifunción de Bajo Costo de 14 Bits, 48 kS/s

- 8 entradas analógicas (14 bits, 48 kS/s)
- 2 salidas analógicas (12 bits a 150 S/s), 12 E/S digitales; contador de 32 bits
- Energizado por bus para una mayor movilidad, conectividad de señal integrada
- La versión OEM está disponible
- Compatible con LabVIEW, LabWindows/CVI y Measurement Studio para Visual Studio .NET
- Software controlador NI-DAQmx y software interactivo NI LabVIEW SignalExpress LE para registro de datos



Información General

El USB-6009 de National Instruments brinda funcionalidad de adquisición de datos básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio. Es accesible para uso de estudiantes y lo suficientemente poderoso para aplicaciones de medida más sofisticadas. Para usuarios de Mac OS X y Linux, descargue el software NI-DAQmx Base y programe el USB-6009 con LabVIEW o C. Para cursos suplementarios con experimentos prácticos sobre teoría de simulación, medidas y automatización, NI desarrolló un Paquete de Estudiante USB-6009 que incluye una copia de LabVIEW Edición de Estudiante. Estos paquetes son exclusivamente para estudiantes, proporcionándoles una herramienta de aprendizaje potente, práctica y a bajo costo. Visite la página de productos académicos de NI en <http://www.ni.com/academic/measurements.htm> para más detalles.

Para un muestreo más rápido, medidas más precisas, soporte para calibración y mayor número de canales, considere los dispositivos de adquisición de datos de alto rendimiento energizados por bus USB, NI USB-6210 y NI USB-6211.

Cada dispositivo USB de adquisición de datos incluye una copia de NI LabVIEW SignalExpress LE así usted puede adquirir, analizar y presentar datos rápidamente sin programación. Además de LabVIEW SignalExpress, los módulos de adquisición de datos por USB son compatibles con las siguientes versiones (o posteriores) de software de aplicación - LabVIEW 7.x, LabWindows™/CVI 7.x o Measurement Studio 7.x. Los módulos USB de adquisición de datos también son compatibles con Visual Studio .NET, C/C++ y Visual Basic 6.

Especificaciones

Documentos con Especificaciones

- Especificaciones (2)
- Hoja de Especificaciones

Resumen de Especificaciones

General	
Producto	USB-6009
Familia de Productos	DAQ Multifunción
Formato Físico	USB

Número de Parte	779026-01
Sistema Operativo/Objetivo	Linux , Mac OS , Pocket PC , Windows
Familia de Productos DAQ	Serie B
Tipos de Medida	Voltaje
Compatibilidad con RoHS	Sí
Entrada Analógica	
Canales	4 , 8
Canales de una sola terminal	8
Canales Diferenciales	4
Resolución	14 bits
Velocidad de Muestreo	48 kS/s
Rendimiento (Todos los Canales)	48 kS/s
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	10 V
Rango de Voltaje Máximo	-10 V , 10 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	138 mV
Rango de Voltaje Mínimo	-1 V , 1 V
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	37.5 mV
Número de Rangos	8
Muestreo Simultáneo	No
Memoria Interna	512 B
Salida Analógica	
Canales	2
Resolución	12 bits
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	5 V
Rango de Voltaje Máximo	0 V , 5 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	7 mV
Rango de Voltaje Mínimo	0 V , 5 V
Mínima Precisión del Rango de Voltaje	7 mV
Razón de Actualización	150 S/s

Capacidad de Corriente Simple	5 mA
Capacidad de Corriente Total	10 mA
E/S Digital	
Canales Bidireccionales	12
Canales de Entrada Únicamente	0
Canales de Salida Únicamente	0
Temporización	Software
Niveles Lógicos	TTL
Entrada de Flujo de Corriente	Sinking , Sourcing
Salida de Flujo de Corriente	Sinking , Sourcing
Filtros de Entrada Programables	No
¿Soporta Estados de Encendido Programables?	No
Capacidad de Corriente Simple	8.5 mA
Capacidad de Corriente Total	102 mA
Temporizador Watchdog	No
¿Soporta Protocolo de Sincronización para E/S?	No
¿Soporta E/S de Patrones?	No
Máximo Rango de Entrada	0 V , 5 V
Máximo Rango de Salida	0 V , 5 V
Contadores/Temporizadores	
Número de Contadores/Temporizadores	1
Operaciones a Búfer	No
Eliminación de Rebotes	No
Sincronización GPS	No
Rango Máximo	0 V , 5 V
Frecuencia Máxima de la Fuente	5 MHz
Generación de Pulso	No
Resolución	32 bits
Estabilidad de Tiempo	50 ppm

Niveles Lógicos	TTL
Especificaciones Físicas	
Longitud	8.51 cm
Ancho	8.18 cm
Altura	2.31 cm
Conector de E/S	Terminales de tornillo
Temporización/Disparo/Sincronización	
Disparo	Digital
Bus de Sincronización (RTSI)	No

Precios



Oferta especial: ¡Compre online con su tarjeta de crédito y reciba el envío gratis!
 ¡NUEVO! National Instruments ahora acepta compras con tarjeta de crédito. Pague online con una tarjeta de crédito y reciba el envío estándar GRATIS. Todos los descuentos están sujetos a la verificación y aprobación final por National Instruments.

Paquete Completo de NI USB-6009

Cada NI USB-6009 requiere:

NI USB-6009	Software
-------------	----------

Mueva los íconos de arriba y conozca por qué necesita cada producto en el paquete.

NI USB-6009 y Accesorios

Subtotal de Hardware: € 279

NI USB-6009 - 779026-01	Cant.	€ 279 cada uno
-------------------------	-------	----------------

Accesorios Opcionales Ocultar

USB 6008/09 Accessory Kit - 779371-01	Cant.	€ 39 cada uno
---------------------------------------	-------	---------------

USB 6000 Series Prototyping Accessory - 779511-01	Cant.	€ 39 cada uno
---	-------	---------------

Software

Subtotal Software: € 0

Nota: Debe comprar este dispositivo sin software, solamente si ya posee un software de aplicación compatible. [Ver Lista Completa]

Sistema de Desarrollo de Cant.
NI LabVIEW
SignalExpress -
779037-35

€ 999 cada uno

Cambiar Software

Conozca sobre todo el software compatible y obtenga recomendaciones de acuerdo a sus necesidades.

Días Estimados de Envío: 1 - 2

Precio del Paquete: € 279

[Añadir al Carro >>](#)

Garantice su precio por 30 días (aprenda más) Cotización al Instante

[Guardar](#)

Usted necesita software para establecer interfaz con su hardware y para reunir, analizar, presentar y almacenar sus medidas. Esta tarjeta es compatible con una variedad de lenguajes de programación, incluyendo LabVIEW, C/C++, Visual Basic y .NET. LabVIEW proporciona la más fácil integración con todo su hardware y es recomendado para maximizar su inversión en hardware. Usted ha seleccionado España como el país donde usará los productos. ([cambiar](#)).

Recursos

Información Adicional de Productos

- [Manuales \(5\)](#)
- [Dibujos Dimensionales](#)
- [Certificaciones de Productos](#)

Información Relacionada

- [Adquisición de Datos USB para OEM](#)
- [Descargue Controladores de Adquisición de Datos](#)
- [Software Interactivo para Registro de Datos NI LabVIEW SignalExpress](#)

© 2012 National Instruments Corporation. All rights reserved.